

PRODUÇÃO DE HIDROGÉNIO POR FOTOELETROLÍSE DA ÁGUA - APROVEITAMENTO DO SUBPRODUTO OXIGÉNIO

EDGAR MANUEL MOREIRA PEREDO

Outubro de 2012

PRODUÇÃO DE HIDROGÉNIO POR FOTOELETROLÍSE DA ÁGUA - APROVEITAMENTO DO SUBPRODUTO OXIGÉNIO

Edgar Manuel Moreira Peredo

Outubro 2012

Orientação: Engenheiro Christopher Sá

AGRADECIMENTOS

Expresso o meu agradecimento ao Engenheiro Christopher Sá por todo o apoio prestado na elaboração desta tese.

À doutora Carla Seco, diretora da empresa Gasoxmed – Gases Medicinais S.A., e a todos os fornecedores, nomeadamente, aos Sr.(s) Leonardo Valério e Hélder Caseiro da JG Instalações Elétricas, ao Sr. Hans Vock da Diamondlite grupo ProtonOnSite, ao Sr. David Savidge da RIX Industries e à D. Helena da Tecnifiltro pela disponibilidade e ajuda na obtenção de todos os dados económicos e técnicos necessários à realização do estudo.

A todos os professores do ISEP, em especial ao Engenheiro António Crispim Ribeiro, por me terem recebido e ajudado a integrar no Mestrado de Engenharia Química.

Aos meus pais, à minha esposa, aos meus sogros e toda a minha família que sempre me apoiaram e incentivaram a concluir o mestrado.

A todos os meus amigos, em especial, Gil Dias, Fernando Pires, Rui Pereira, António Pedro e Filipe Torres, pelos incentivos e força na realização deste projeto.

RESUMO

A noção de Economia relativa ao Hidrogénio no vocabulário dos líderes políticos e empresariais tem vindo a mudar sobretudo pela preocupação da poluição global, segurança energética e mudanças climáticas, para além do crescente domínio técnico dos cientistas e engenheiros. O interesse neste composto, que é o elemento mais simples e abundante no universo, está a crescer, devido aos avanços tecnológicos das células de combustível – as potenciais sucessoras das baterias dos aparelhos portáteis eletrónicos, centrais elétricas e motores de combustão interna.

Existem métodos já bem desenvolvidos para produzir o hidrogénio. Contudo, destaca-se a eletrólise da água, não só por ser um método simples mas porque pode utilizar recursos energéticos renováveis, tais como, o vento ou os painéis fotovoltaicos, e aumentar a sua eficiência. Os desafios para melhorar a utilização deste método consistem em reduzir o consumo, a manutenção e os custos energéticos e aumentar a confiança, a durabilidade e a segurança. Mais ainda, consistem em rentabilizar o subproduto oxigénio pois é um gás industrial e medicinal muito importante.

Neste trabalho, estudou-se a viabilidade económica da instalação de uma unidade de produção de hidrogénio e oxigénio puros por eletrólise da água, utilizando como fonte energética a energia solar, na empresa Gasoxmed – Gases Medicinais S.A., pretendendo num futuro próximo, comercializar o hidrogénio como fonte de energia, e por outro lado, aproveitar o subproduto oxigénio para utilização industrial. Projetou-se assim uma unidade utilizando um eletrolisador da marca Proton, modelo C30, com capacidade de produção gasosa de 3 kg/h (30 m³/h) de hidrogénio e 20 kg/h (15 m³/h) de oxigénio. Os gases produzidos são comprimidos num compressor da marca RIX a 200 bares para posterior armazenamento em cilindros pressurizados. Dimensionou-se ainda um sistema de miniprodução fotovoltaico com potência 250 kW para alimentar eletricamente a instalação.

A realização do projeto na nova área de produção necessitará de 1.713.963€, os quais serão adquiridos por empréstimo bancário. Definiram-se todos os custos fixos associados ao projeto que perfazem um total de 62.554€/mês para os primeiros 5 anos (duração do crédito bancário) findo o qual diminuirão para 21.204€/mês. Da comercialização do hidrogénio, do oxigénio industrial e da eletricidade produzida no sistema de miniprodução de 250 kW, prevê-se um lucro mensal de 117.925€, perfazendo assim um total líquido mensal positivo de 55.371€ durante os primeiros 5 anos e a partir daí de 96.721€/mês, resultando uma amortização do investimento inicial no final do 3º ano.

PALAVRAS-CHAVE: hidrogénio, oxigénio, fotoeletrolíse da água, energia solar

ABSTRACT

The hydrogen economy notion has been changing in the political and business leader's vocabulary mainly because of the preoccupation about global pollution, energy security and climate changes, in addition to the growing technical mastery from scientists and engineers. The interest in this composite, which is the most simple and abundant element in the universe, is growing due to the technological advancements in fuel cells – the potential successors from the batteries on portable electronic devices, power plants and internal combustion engines.

There are several well implemented methods to produce hydrogen. However, the water electrolysis stands out, not only because it is a simple method but also because it can use renewable energy resources, such as the wind or photovoltaic panels, increasing his efficiency. The challenges to improve this method's use consist in reducing consumption, energy cost and maintenance and increasing reliance, durability and security. Furthermore, consists in monetize the byproduct oxygen which is a very important medical and industrial gas.

In this study, a research has been made to determinate the economic viability of installing a pure hydrogen and oxygen production unit by water electrolysis using solar energy as the energy source, in the enterprise Gasoxmed – Gases Medicinais S.A., intending in the near future to commercialize hydrogen as an energy source, and on the other hand the byproduct oxygen for industrial use. A production facility has been designed using an electrolyzer of the brand Proton, model C30, with a gaseous production capacity of 3 kg/h (30 m³/h) of hydrogen and 20 kg/h (15 m³/h) of oxygen. The gases will be compressed in a compressor RIX for subsequent storage at 200 bars in pressurized cylinders. A photovoltaic miniproduction system has been scaled up with 250 kW of power to feed the installation.

To carry out the project in a new production area, it will be necessary an amount of 1.713.963€, which will be acquired by a bank loan. All the fixed costs associated with the project have been set up for a total of 62.554€/month for the first 5 years, bank credit duration, after which the fixed costs will decrease to 21.204€/month. From the commercialization of hydrogen, industrial oxygen and electricity produced in the miniproduction system of 250 kW, it is anticipated a monthly profit of 117.925€, thus making a positive monthly net total of 55.371€ for the first 5 years and 96.721€ thereafter, resulting in an amortization of the initial investment at the end of the 3rd year.

KEYWORDS: hydrogen, oxygen, water photoelectrolysis, solar energy

I. ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xv
1. CAPÍTULO – INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Produção de Hidrogénio por Fotoeletrolise da Água.....	3
1.1.1. O Combustível Hidrogénio.....	4
1.1.2. Fotoeletrolise da Água.....	5
1.1.3. A Química da Eletrolise por PEM.....	7
1.2. O Subproduto Oxigénio para Utilização Industrial e Medicinal	8
1.3. A Energia Solar	9
1.3.1. Energia Solar Fotovoltaica.....	9
1.3.2. Estrutura de Uma Célula Fotovoltaica.....	11
1.4. Estado da Arte.....	13
2. CAPÍTULO - ESTUDO DA INSTALAÇÃO DE UM FOTOELETROLISADOR DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DE H ₂ E O ₂	21
2.1. A Unidade Atual de Produção de O ₂	23
2.2. Diagrama de Fluxo da Instalação Atual	24
2.3. Necessidades Mássicas do Processo Atual.....	25
2.3.1. Secção 1 – Receção e Transferência do Oxigénio para o Depósito Criogénico..	25
2.3.2. Secção 2 – Enchimento dos Recipientes Criogénicos	26
2.3.3. Secção 3 – Enchimento dos Cilindros Pressurizados	26
2.4. Projeto da Instalação de um Fotoeletrolisador de Água para Produção de H ₂ e O ₂	28
2.5. Diagrama de Fluxo da Instalação do Fotoeletrolisador Alimentado a Energia Solar	29
2.6. Balanços Mássicos das Produções de H ₂ e O ₂ no Fotoeletrolisador.....	30
2.6.1. Secção 1 – Produção de H ₂ , Sua Compressão e Armazenagem.....	30
2.6.2. Secção 2 – Produção de O ₂ , Sua Compressão e Armazenagem.....	31
2.7. Sistema de Produção de Energia Fotovoltaica	32
2.7.1. Enquadramento Legal	32
2.7.2. Localização e Determinação da Área Disponível para a Instalação	36
2.7.3. Dimensionamento.....	37

3.	CAPÍTULO – AVALIAÇÃO ECONÓMICA DA INCLUSÃO DA NOVA UNIDADE FABRIL	39
3.1.	Avaliação dos Consumos e Custos Energéticos	41
3.1.1.	Instalação Atual	41
3.1.2.	Nova Unidade Fabril	41
3.1.3.	Sistema de Miniprodução Fotovoltaica	43
3.2.	Custos na Aquisição de Equipamentos e na Logística Associada à Nova Unidade Fabril	46
3.3.	Receitas com a Comercialização do H ₂ e do O ₂ Industrial	48
3.4.	Avaliação dos Custos vs Receitas no Estudo da Rentabilidade do Projeto	48
3.5.	Avaliação LAY-OUT	51
4.	CAPÍTULO - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
	BIBLIOGRAFIA	61
	ANEXOS	63
A.	CARACTERÍSTICAS DO OXIGÉNIO	63
B.	DADOS FORNECIDOS PELA EMPRESA GASOXMED – GASES MEDICINAIS S.A.	65
C.	CARACTERÍSTICAS DO ELETROLISADOR DE ÁGUA	67
D.	CARACTERÍSTICAS DO DESMINERALIZADOR DE ÁGUA	69
E.	CARACTERÍSTICAS DA RAMPA DE ENCHIMENTO DOS CILINDROS	71
F.	CARACTERÍSTICAS DO COMPRESSOR DE HIDROGÉNIO	73
G.	CARACTERÍSTICAS DO COMPRESSOR DE OXIGÉNIO	75
H.	CARACTERÍSTICAS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO SUNTECH DE 230 W	79
I.	CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR SCHNEIDER ELECTRIC 20 KW	81
J.	TARIFAS DE ENERGIA A PARTIR DE 01 DE JULHO DE 2012 FORNECIDAS PELA ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS	85
K.	DIMENSIONAMENTO E ESTUDO DE RENTABILIDADE DO SISTEMA MINIGERAÇÃO DE 250 KW PROPOSTO PELA EMPRESA JG INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	87

II. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Diversas aplicações na utilização simultânea do hidrogénio e do subproduto oxigénio ^[4]	4
Figura 1.2 – Ilustração esquemática dum sistema conceptual de distribuição de energia onde a eletrólise da água desempenha um papel importante na produção do hidrogénio como um gás combustível e um mecanismo de armazenagem de energia ^[10]	6
Figura 1.3 – Ilustração esquemática de um sistema de eletrólise de água utilizando a tecnologia PEM ^[14]	7
Figura 1.4 – Estrutura simples de uma célula solar ^[21]	10
Figura 1.5 – Célula de silício monocristalino ^[20]	11
Figura 1.6 – Célula de silício policristalino ^[20]	12
Figura 1.7 – Célula de silício amorfo ^[20]	13
Figura 1.8 – Sistema de transição global de energia ^[3]	14
Figura 1.9 – Sistema de energia para o hidrogénio ^[3]	16
Figura 1.10 – Eletrólise fotovoltaica da água ^[3]	19
Figura 2.1 - Diagrama de fluxo da instalação atual	24
Figura 2.2 – Detalhe do processo de receção do oxigénio na instalação inicial.....	25
Figura 2.3 - Detalhe do processo de enchimento dos recipientes criogénicos na instalação inicial	26
Figura 2.4 – Detalhe do processo de enchimento dos cilindros na instalação inicial	27
Figura 2.5 - Diagrama de fluxo da instalação do fotoeletrolisador de água alimentado a energia solar	29
Figura 2.6 – Detalhe da produção de hidrogénio no eletrolisador, sua compressão e armazenagem	31
Figura 2.7 - Detalhe da produção de oxigénio no eletrolisador, sua compressão e armazenagem	32
Figura 2.8 - Fotografia de satélite dos armazéns onde irá ser instalado o sistema fotovoltaico	36
Figura 2.9 - Exemplo de um sistema fotovoltaico instalado no telhado de um edifício.....	37
Figura 3.1 – Produção energética anual do sistema de Miniprodução em kWh com perda de eficiência de 0,3% ano	45
Figura 3.2 – Produção energética anual média em kWh	45
Figura 3.3 – Rentabilidade do projeto a 25 anos	51
Figura 3.4 – LAY-OUT da instalação atual	52
Figura 3.5 – Detalhe da zona de produção atual	53
Figura 3.6 – LAY-OUT da instalação projetada	54

Figura 3.7 – Detalhe da zona de produção projetada	55
Figura A.1 - Características do oxigénio ^[23]	63
Figura C.1 – Características do eletrolisador de água (modelo escolhido – C30) ^[24]	67
Figura C.2 - Características do eletrolisador de água (modelo escolhido – C30) ^[24] , continuação.....	68
Figura D.1 – Filtro desmineralizador de água ^[25]	69
Figura D.2 – Unidade compacta de desmineralização por osmose inversa com medidor de TDS ^[25]	70
Figura E.1 – Características da rampa de enchimento de cilindros ^[26]	71
Figura E.2 – Características da rampa de enchimento de cilindros, continuação ^[26]	72
Figura F.1 – Características do compressor de hidrogénio ^[27]	73
Figura F.2 – Características do compressor de hidrogénio, continuação ^[27]	74
Figura G.1 - Características do compressor de oxigénio ^[27]	75
Figura G.2 - Características do compressor de oxigénio, continuação ^[27]	76
Figura G.3 – Características do compressor de oxigénio, continuação ^[27]	77
Figura H.1 – Características do Módulo Fotovoltaico	79
Figura H.2 - Características do Módulo Fotovoltaico, continuação	80
Figura I.1 – Características do Inversor	81
Figura I.2 - Características do Inversor, continuação.....	82
Figura I.3 - Características do Inversor, continuação.....	83
Figura I.4 - Características do Inversor, continuação.....	84
Figura J.1 – Tarifa transitória de venda a clientes finais em BTN (20,7kVA) ^[28]	85
Figura J.2 – Tarifa transitória de venda a clientes finais em MT ^[28]	85
Figura K.1 – Orçamento para fornecimento e instalação da unidade de minigeração de 250 kW.....	87
Figura K.2 – Estudo da rentabilidade da unidade de minigeração de 250 kW	89

III. ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Necessidades mássicas da instalação atual	27
Tabela 2.2 – Balanços mássicos do projeto de instalação do eletrolisador.....	32
Tabela 2.3 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico proposto pela empresa JG Instalações Elétricas	38
Tabela 3.1 – Consumo mensal energético médio e respetivo custo da instalação atual da empresa.....	41
Tabela 3.2 – Consumos energéticos dos equipamentos a adquirir necessários ao novo processo de produção.....	42
Tabela 3.3 – Consumo mensal energético médio e respetivo custo em euros da nova instalação	43
Tabela 3.4 – Produção energética do sistema de Miniprodução a 25 anos e respetiva remuneração por venda da eletricidade produzida	44
Tabela 3.5 – Custo de todos os equipamentos que serão necessários adquirir para o funcionamento do novo sistema de produção e respetivo total.....	46
Tabela 3.6 – Condições de financiamento propostas pela entidade bancária.....	47
Tabela 3.7 – Custos associados à logística do novo processo de fabrico	47
Tabela 3.8 – Receitas com a venda de hidrogénio e oxigénio industrial.....	48
Tabela 3.9 – Custos vs Receitas em €/mês.....	49
Tabela 3.10 – Estudo da rentabilidade a 25 anos.....	50
Tabela B.1 - Dados fornecidos pela empresa Gasoxmed – Gases Medicinais S.A.	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CdTe	Células à base de telúrio de cádmio
CIGS	Células onde o índio forma uma liga com gálio
CIS	Células à base de cobre, índio e selénio
DC	Corrente Contínua
PEM	Proton Exchange Membrane
PSA	Pressure Swing Absorption
SMR	Steam Methane Reforming
SPE	Solid Polymer Electrolysis
TSA	Temperature-Swing Adsorption
TAE	Taxa Anual Efetiva
TAEG	Taxa Anual Efetiva Global
TDS	Total Sólidos Dissolvidos
RESP	Rede Elétrica Serviço Público
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
SRmini	Sistema de Registo da Miniprodução
SRmicro	Sistema de Registo da Microgeração
DGEG	Direção Geral Energia e Geologia

1. CAPÍTULO – INTRODUÇÃO

1.1. Produção de Hidrogénio por Fotoeletrolise da Água

A utilização do hidrogénio (H_2) como fonte de energia é bastante promissora para os sistemas de energia no futuro, podendo oferecer, como vetor de energia principal, uma boa resposta à ameaça da mudança do clima global e ajudar a evitar os efeitos indesejáveis da utilização dos combustíveis fósseis^[1]. Embora seja estimado que a utilização de H_2 é mais dispendiosa do que a utilização dos combustíveis fósseis, ao considerar a sua produção a partir de energias renováveis, este é praticamente inesgotável, ambientalmente benigno e um transportador de energia final, que pode satisfazer as nossas necessidades energéticas, evitando custos ambientais e problemas de saúde associados aos outros.

A curto prazo, o H_2 é produzido a partir de combustíveis fósseis, como o gás natural, utilizando sobretudo a técnica “*steam methane reforming*” (SMR). A longo prazo, ele será produzido a partir dos recursos energéticos renováveis evitando o consumo dos combustíveis e as consequentes emissões de gases de efeito de estufa. Admite-se, no entanto, que tem ainda que ser melhorada ou desenvolvida a sua facilidade de produção, armazenagem e distribuição. Por outras palavras, o H_2 tem um grande potencial de superação das limitações dos intermitentes recursos energéticos renováveis, o que pode, portanto, beneficiar o seu desenvolvimento. Por exemplo, a eletrólise da água por “*proton exchange membrane*” (PEM) é considerado um método promissor para a sua produção com recurso às energias renováveis, tais como o vento e os painéis fotovoltaicos, sobretudo devido à sua grande eficiência. Atualmente, mesmo no caso da eletrólise alcalina da água, que é um método já bem desenvolvido, o custo de produção é elevado em comparação com as tecnologias SMR, devido aos valores do investimento e energia envolvidos^[2].

A eletrólise da água representa apenas 4% da produção mundial de hidrogénio^[3], no entanto, melhorias tecnológicas podem, porém, tornar a sua produção muito atrativa para o futuro. Por conseguinte, como opção a longo prazo, a produção de H_2 através da fotoeletrolise da água por PEM também contribuirá para a introdução de uma energia renovável de futuro.

Se for necessário produzir grandes quantidades de hidrogénio, o subproduto oxigénio (O_2) também será produzido em larga escala. Nesta situação, o O_2 poderá ser totalmente aproveitado, uma vez que é um gás industrial importante, sendo utilizado em diversos processos como a combustão, produção de semicondutores e tratamento de águas residuais. A sua utilização efetiva pode também melhorar a eficiência energética de alguns processos industriais ou usá-lo para fins medicinais^[2]. Na Figura 1.1 estão representadas diversas aplicações na utilização simultânea do H_2 e do O_2 .

O uso de ar enriquecido com O_2 em processos de combustão em aplicações industriais, tem o potencial de reduzir a quantidade de calor perdido para a atmosfera em cerca de dois terços. A crescente preocupação global com o meio ambiente originou também uma procura deste gás para áreas como fornos elétricos, fusão de vidro, tratamento dos resíduos sólidos municipais, tratamento de águas residuais, fins medicinais, entre outros. Além do mais, o O_2 pode contribuir para a redução da grande quantidade de eletricidade consumida na sua produção através das tecnologias de separação de ar, como a separação criogénica e a “*pressure swing absorption*” (PSA). Se este subproduto for totalmente utilizado, existirá um maior equilíbrio entre a produção e a procura^[4].

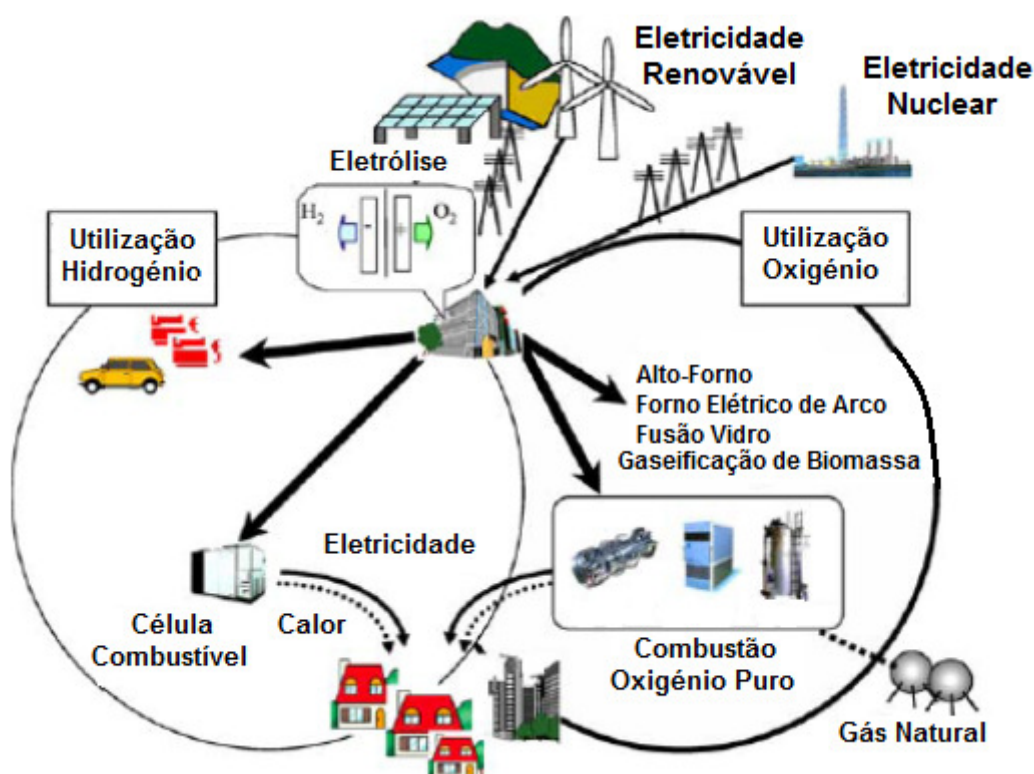


Figura 1.1 – Diversas aplicações na utilização simultânea do hidrogénio e do subproduto oxigénio^[4]

1.1.1. O Combustível Hidrogénio

O desafio de promover um desenvolvimento sustentável constitui-se como uma ambição coletiva e implica conjugar o desenvolvimento económico com a promoção de uma estabilidade social, sem comprometer o ambiente em que vivemos. A solução para esta complexa equação passa por inovar a diferentes níveis, assumindo tecnologias e práticas mais eco-eficientes.

O paradigma do desenvolvimento sustentável encontra um excelente exemplo na energia. A sustentabilidade do sistema energético depende do lado da procura, da atitude com que encaramos o consumo, do lado da oferta, do reforço das fontes energéticas renováveis e do lado da utilização, da otimização dos sistemas de transformação de energia. No vértice desta discussão está, atualmente, o H_2 ^[5].

O H_2 é o elemento mais abundante e mais leve no Universo, sendo também o mais simples da tabela periódica de Mendeleiev. É conhecido desde há centenas de anos como um gás que se obtém quando ácido sulfúrico diluído é posto em contacto com o ferro, sendo inflamável no ar. Henry Cavendish mostrou que o gás se forma pela ação de ácidos, como o clorídrico ou o ácido sulfúrico, em contacto com metais como zinco e o ferro. Ele também fez explodir misturas deste gás em contacto com o ar usando faíscas elétricas (1784), e encontrou um produto que parecia “água pura”. Mais tarde Antoine Lavoisier explicou os resultados de Cavendish, e deu ao gás o nome de “hidrogénio”, proveniente do grego “formar-água”. Esta decomposição da água nos seus componentes fez cair a ideia, já há algum tempo estabelecida, de que a água seria apenas formada por um tipo de átomo.

Na terra não existe H_2 livre, estando sempre associado a outros elementos. Para ser obtido “puro” é necessário gastar energia na dissociação de uma fonte primária. Sendo assim, o H_2 não é uma fonte primária de energia mas sim, uma fonte intermediária, por isso não deve ser referido como uma fonte energética, pois é apenas um vetor, isto é, uma moeda de troca^[6]. Nos últimos anos tornou-se muito popular devido a inúmeras razões, nomeadamente, é considerado um combustível limpo emitindo apenas água na sua utilização, pode ser produzido utilizando inúmeras fontes de energia, com particular interesse nas energias renováveis^[7], funciona com células de combustível^[8] e pode ser uma das soluções para um desenvolvimento energético sustentável^[9].

A escolha do melhor método de produção do H_2 depende da quantidade que queremos produzir e do seu grau de pureza. As tecnologias de produção de hidrogénio necessitam de energia de alguma forma para que se inicie o processo, por exemplo: calor, luz ou eletricidade. A energia elétrica poderá vir de fontes renováveis, como a energia solar, tornando o processo de produção perfeitamente limpo^[6].

1.1.2. Fotoeletrolise da Água

A eletrólise da água pode funcionar muito bem em pequenas escalas e, utilizando energias renováveis, pode considerar-se sustentável. Uma produção de energia conceptual com distribuição, conversão, armazenamento e utilização de energia em comunidades

remotas está ilustrado na Figura 1.2, com a eletrólise da água a ser alimentada pelo sol e o H_2 a ser armazenado e utilizado como um gás combustível em aplicações de aquecimento.

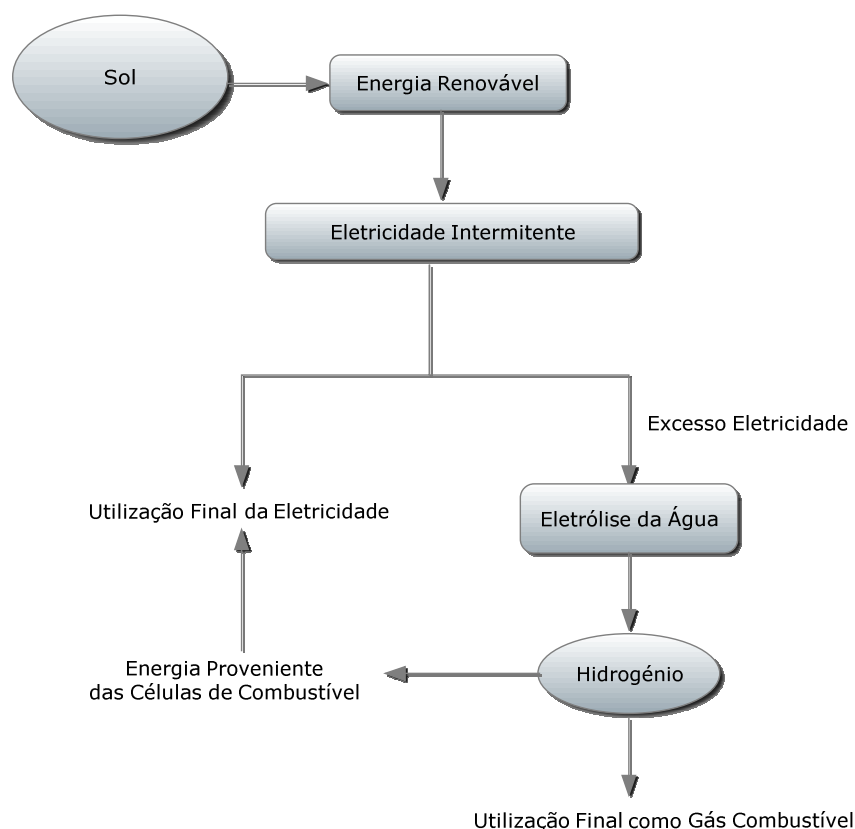


Figura 1.2 – Ilustração esquemática dum sistema conceitual de distribuição de energia onde a eletrólise da água desempenha um papel importante na produção do hidrogénio como um gás combustível e um mecanismo de armazenagem de energia^[10]

Áreas remotas, com luz solar e/ou recursos eólicos em abundância, podem tirar vantagem desta forma de produção de H_2 , satisfazendo as necessidades energéticas das suas populações, abastecendo sistemas de aquecimento, produzindo indiretamente eletricidade para estações de telecomunicações, entre outras^[11].

Os eletrolisadores de água de pequena escala, podem também substituir a necessidade de liquefazer o H_2 evitando grandes tanques criogénicos e grandes sistemas de condutas^[12]. Em pequena escala, o H_2 e o O_2 puros podem também ser utilizados em diversas aplicações, como por exemplo: sistemas de suporte de vida em hospitais e laboratórios^[4].

Embora possuindo vantagens de disponibilidade, flexibilidade e pureza elevada para alcançar aplicações generalizadas, a produção de H_2 pela fotoeletrolíse da água necessita de melhorias em eficiência, segurança, durabilidade, operabilidade e portabilidade energética, e acima de tudo, redução nos custos de operação. Estas necessidades podem criar oportunidades de pesquisa e desenvolvimento levando a avanços tecnológicos^[10].

1.1.3. A Química da Eletrólise por PEM

Uma unidade de eletrólise por PEM é constituída basicamente por 2 elétrodos, um ânodo e um cátodo, separados por um eletrólito – uma membrana sólida de permuta protónica, conforme ilustrado na Figura 1.3. No ânodo, que num eletrólizador é o elétrodo positivo, ocorre a reação de oxidação da água, ou seja, a água perde eletrões dando origem à formação de oxigénio e à libertação de protões H^+ que migrarão para o eletrólito. No elétrodo negativo, o cátodo, ocorre a redução, onde os protões são retirados do eletrólito e combinados com os eletrões livres fornecidos, formando-se assim moléculas de hidrogénio. Como há perdas ohmicas na condução da eletricidade, perdas pelas reações na superfície dos elétrodos, ligeiras perdas nas concentrações dos gases produzidos, perdas na condução dos eletrões pela membrana é necessário uma fonte de energia extra, que poderá ter origem nas energias renováveis^[13]. Embora não expreso na Figura 1.3, as correntes gasosas são muitas vezes saturadas em humidade e necessitam de ser secas.

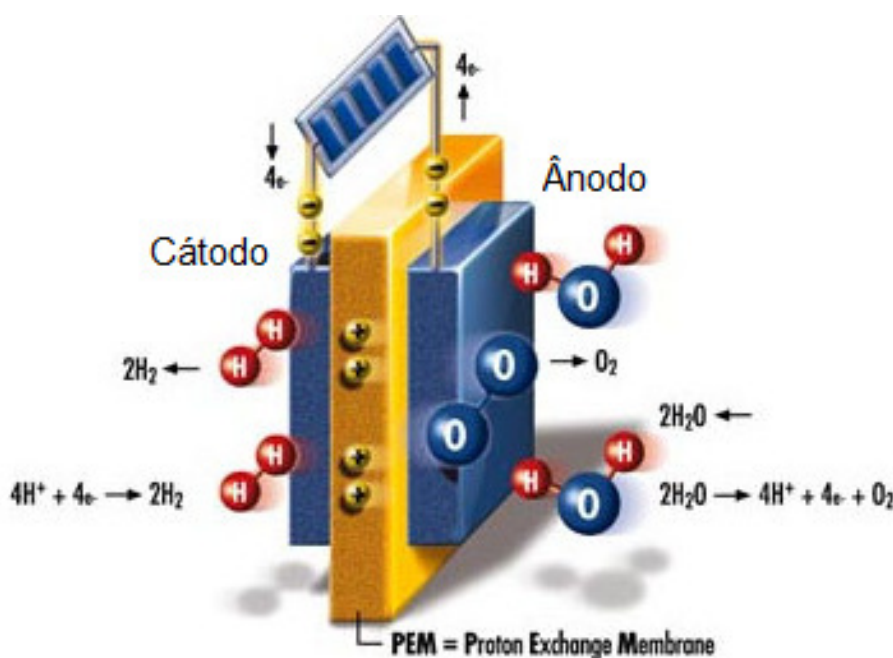
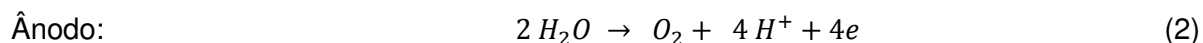
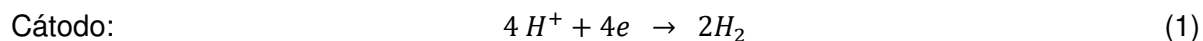


Figura 1.3 – Ilustração esquemática de um sistema de eletrólise de água utilizando a tecnologia PEM^[14]

Com a utilização de um diafragma, recetores de gás podem armazenar o hidrogénio e o oxigénio, que se formam e migram do cátodo e do ânodo, respetivamente.

As reações que ocorrem no cátodo e no ânodo são as seguintes:



A reação química global da eletrólise da água é a seguinte:



1.2. O Subproduto Oxigénio para Utilização Industrial e Medicinal

Uma unidade de separação de ar convencional utilizando uma multicolumna de destilação criogénica produz O_2 a partir do ar comprimido de alta pureza e com bom grau de recuperação. A separação do ar criogénico é normalmente a tecnologia mais eficiente e com uma grande relação custo-benefício para produzir grandes quantidades de O_2 . A energia necessária para esta tecnologia é cerca de $0,5 \text{ kW.h/Nm}^3$ e a pureza obtida pode ser superior a 99 vol%.

O O_2 para utilização medicinal é normalmente produzido através do processo criogénico. Nenhuma tecnologia, exceto a eletrólise que ainda é um método viável e em desenvolvimento^[4], desafia a separação de ar criogénico para a produção de O_2 em grande escala e especialmente com elevada pureza. Como esta separação requer cinco grandes processos – (compressão de ar, pré-tratamento de ar, permuta de calor, separação criogénica e compressão de oxigénio) – é utilizada para produção acima de $8000 \text{ Nm}^3/\text{h}$, não sendo viável a pequena escala ou produções *in situ*.

Outro processo para produzir oxigénio é o de adsorção que é baseado na capacidade de alguns materiais sintéticos e naturais, como por exemplo, os zeólitos, adsorverem preferencialmente o nitrogénio. A regeneração do adsorvente pode ser efetuada por aquecimento do material zeolítico “*temperature-swing adsorption (TSA)*” ou por redução da pressão da câmara “*pressure-swing adsorption (PSA)*”. Devido ao tempo de ciclo mais rápido e funcionamento simplificado, o PSA é normalmente utilizado conseguindo atingir cerca de 93 a 95 vol% e necessitando de $0,5 \text{ kW.h/Nm}^3$. Em contraste com o processo criogénico, este processo é utilizado em aplicações de menor escala.

As principais utilizações do oxigénio são a nível industrial: a decapagem, a soldadura autogénica e oxicorte, a têmpera superficial, a indústria química, petroquímica, siderúrgica e metalúrgica^[15], entre outros; e a nível medicinal: no tratamento de doenças como a hipoxia

crónica ou aguda, crises de algia vascular facial, doenças de descompressão, embolias gasosas, entre outras^[16].

1.3. A Energia Solar

A energia solar é considerada uma fonte inesgotável, limpa e sem impactos ambientais negativos. Apesar disso, a sua utilização é ainda limitada, dado que a captação é interrompida durante a noite e a sua produção requer áreas enormes e grandes quantidades de material. O investimento é, por enquanto, relativamente elevado e sujeito a forte concorrência das energias tradicionais lideradas por grandes empresas multinacionais. As dificuldades de exploração da energia solar, em grande escala, têm, ainda, como limitação o facto das suas centrais necessitarem de uma localização próxima das grandes cidades para reduzir as perdas no transporte. A localização é um fator limitante uma vez que o valor dos solos na periferia das grandes áreas urbanas é elevado e porque frequentemente junto do litoral há condições de aproveitamento restringidas pela nebulosidade que reduz a radiação solar direta^[17]. Contudo, a disponibilidade deste recurso energético e a previsível evolução tecnológica permitem antever as enormes potencialidades do seu aproveitamento.

Portugal é um dos países que mais poderá beneficiar com esta tendência evolutiva, visto que a radiação solar recebida em Portugal é cerca de 4000 vezes superior ao consumo de energia utilizada sob todas as formas. O nosso país é, na Europa, um dos que recebe mais elevados índices de radiação solar por unidade de superfície, facto que resulta da sua posição subtropical, no flanco sul europeu, de clima mediterrâneo. A radiação solar total média anual que atinge Portugal é superior à média da Europa, só sendo ultrapassada nas regiões tropicais áridas e semiáridas^[18].

1.3.1. Energia Solar Fotovoltaica

A energia da radiação solar pode ser utilizada na produção de energia térmica a partir das centrais térmicas solares e na produção de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos. A captação de energia solar para sistemas fotovoltaicos tem as vantagens de gerar diretamente energia elétrica não necessitando de circuitos de refrigeração ou turbinas de vapor, e a de aproveitar a radiação difusa em situações de fraca nebulosidade. Há,

contudo, grandes custos de fabrico e um rendimento ainda deficiente que melhorará significativamente com a evolução da tecnologia e o aumento da sua utilização.

Os sistemas de captação dependem sobretudo da radiação global (radiação solar direta + radiação solar difusa) que corresponde à totalidade da energia proveniente do Sol e recebida da Terra, medindo-se geralmente em Langley ($1 \text{ ly} = 1 \text{ cal/cm}^2$). Em Portugal, a radiação global aumenta do litoral para o interior e de Norte para Sul, refletindo mais a variação da nebulosidade do que o efeito da latitude^[19].

As células fotovoltaicas são fabricadas com um material semicondutor, ou seja, um material com características intermédias entre um condutor e um isolante, o silício. O cristal de silício puro não possui eletrões livres sendo assim um mau condutor elétrico. Para alterar isso, acrescentam-se percentagens de outros elementos, processo que se denomina dopagem. Na dopagem do silício com fósforo obtém-se um material com eletrões livres ou materiais portadores de carga negativa (silício tipo N). Na dopagem com Boro obtém-se um material com características inversas, ou seja, falta de eletrões ou material com cargas positivas livres (silício tipo P). Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P^[20], (ver Figura 1.4).

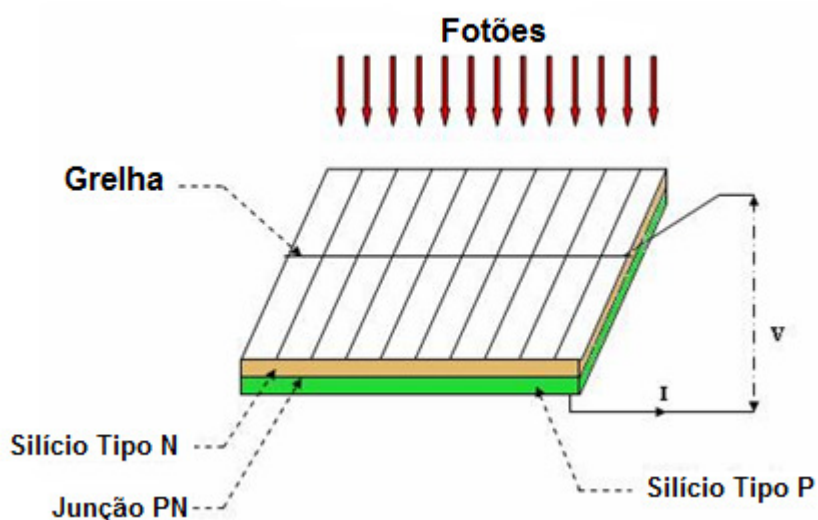


Figura 1.4 – Estrutura simples de uma célula solar^[21]

Ao serem unidas ambas as camadas na região P-N forma-se um campo elétrico devido aos eletrões livres do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P. Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fotões chocam com eletrões da estrutura do silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado pela junção P-N, os eletrões são orientados e fluem da camada P para a camada N e por meio de um condutor externo (ligando a camada negativa à positiva) gera-se um fluxo

de eletrões (corrente elétrica). Enquanto a luz incidir na célula, manter-se-á este fluxo e a intensidade da corrente elétrica gerada variará na proporção da intensidade da luz incidente.

Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, apenas mantém um fluxo de eletrões estabelecidos num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenómeno é denominado “Efeito Fotovoltaico”^[20]. Este efeito foi observado pela primeira vez em 1839 por Alexandre Edmond Becquerel físico francês que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz.

1.3.2. Estrutura de Uma Célula Fotovoltaica

Células de Silício Monocristalino

As primeiras foto-pilhas foram elaboradas a partir de um bloco de silício cristalizado num único cristal (ver Figura 1.5). Apresentam-se sob a forma de placas redondas, quadradas ou pseudo-quadradas e o seu rendimento é de 12 a 16%. Contudo, apresentam dois grandes inconvenientes:

- Preço elevado
- Elevado período de retorno do investimento^[21].



Figura 1.5 – Célula de silício monocristalino^[20]

Célula de silício policristalino

As células de silício policristalino são produzidas a partir de blocos de silício provenientes da fusão de silício puro em moldes especiais. Nesta fusão, os átomos não se organizam num único cristal, mas numa estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais (ver Figura 1.6). A sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é ligeiramente menor do que nas de silício monocristalino, cerca de 11 a 13%^[20].

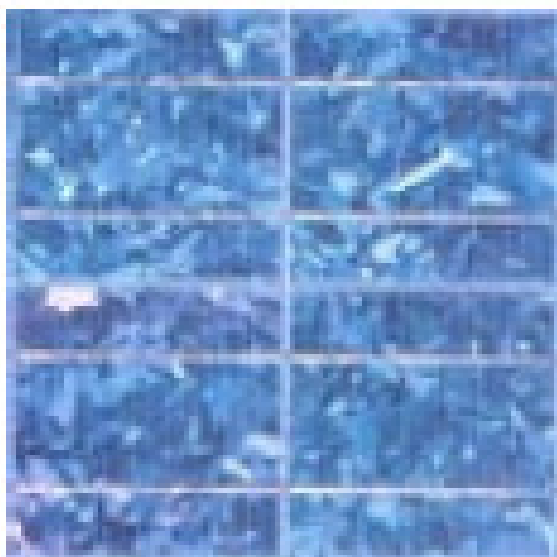


Figura 1.6 – Célula de silício policristalino^[20]

Células de Silício Amorfo

As células de silício amorfo (ver Figura 1.7) são compostas por um suporte de vidro ou de uma matéria sintética, na qual é deposta uma fina camada de silício (a organização dos átomos já não é tão regular como num cristal). O rendimento deste tipo de células é da ordem de 5 a 10%, mais baixo do que nas células cristalinas mas, mesmo assim, a corrente produzida é razoável. Apresentam como vantagem o facto de reagirem melhor à luz difusa e à luz fluorescente e, portanto, apresentarem melhores desempenhos a temperaturas elevadas^[21].

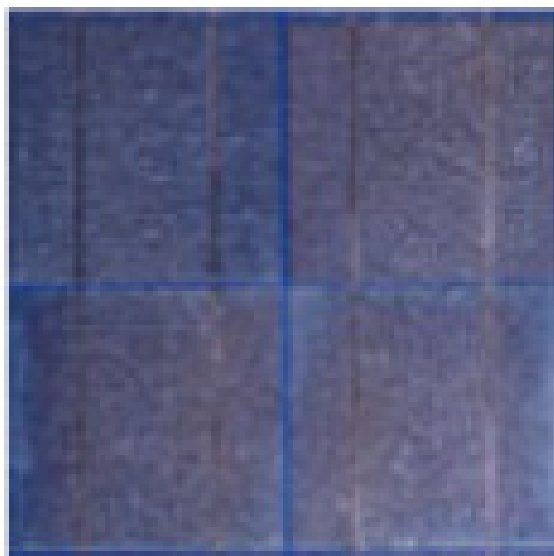


Figura 1.7 – Célula de silício amorfo^[20]

Células de CdTe, CIS E CIGs

As tecnologias CdTe, CIS e CIGS estão em fase de desenvolvimento e industrialização. As células de CdTe têm por base o telúrio de cádmio, material interessante por apresentar uma elevada absorção, no entanto, o seu desenvolvimento fica comprometido atendendo à toxicidade do cádmio. As células de CIS (CuInSe_2) têm por base o cobre, o índio e o selénio, são estáveis quando sujeitas a incidência luminosa e apresentam excelentes propriedades de absorção. As células de CIGS são constituídas pelos mesmos elementos das CIS mas com a particularidade de o índio formar uma liga com o gálio o que permite obter melhores desempenhos^[21].

1.4. Estado da Arte

O facto de uma Economia à volta do Hidrogénio ser de certa forma inevitável, pode ainda hoje parecer implausível por estarmos no pico da era do petróleo. ExxonMobil, BP, Shell, Texaco, e outras multinacionais do petróleo e gás aparecem regularmente no topo da lista da Fortune's Global 500, sempre com elevadas receitas. Este ganho está diretamente ligado à utilização de petróleo no mundo, que teve o seu record em 1999 com 3,5 biliões de toneladas consumidas. O aumento ou queda dos preços do petróleo, as decisões dos países exportadores de petróleo de cortar ou aumentar a produção de petróleo e debates

sobre a exploração em regiões ecologicamente sensíveis, fazem muitas vezes manchete na informação.

A realidade de uma eventual transição para o H_2 torna-se mais evidente se tivermos em linha de conta a história da energia. Desde meados do século 19 que o mundo tem mudado lentamente de uma forma de energia para outra – de sólidos para líquidos e de líquidos para gases – como podemos visualizar na Figura 1.8^[3].

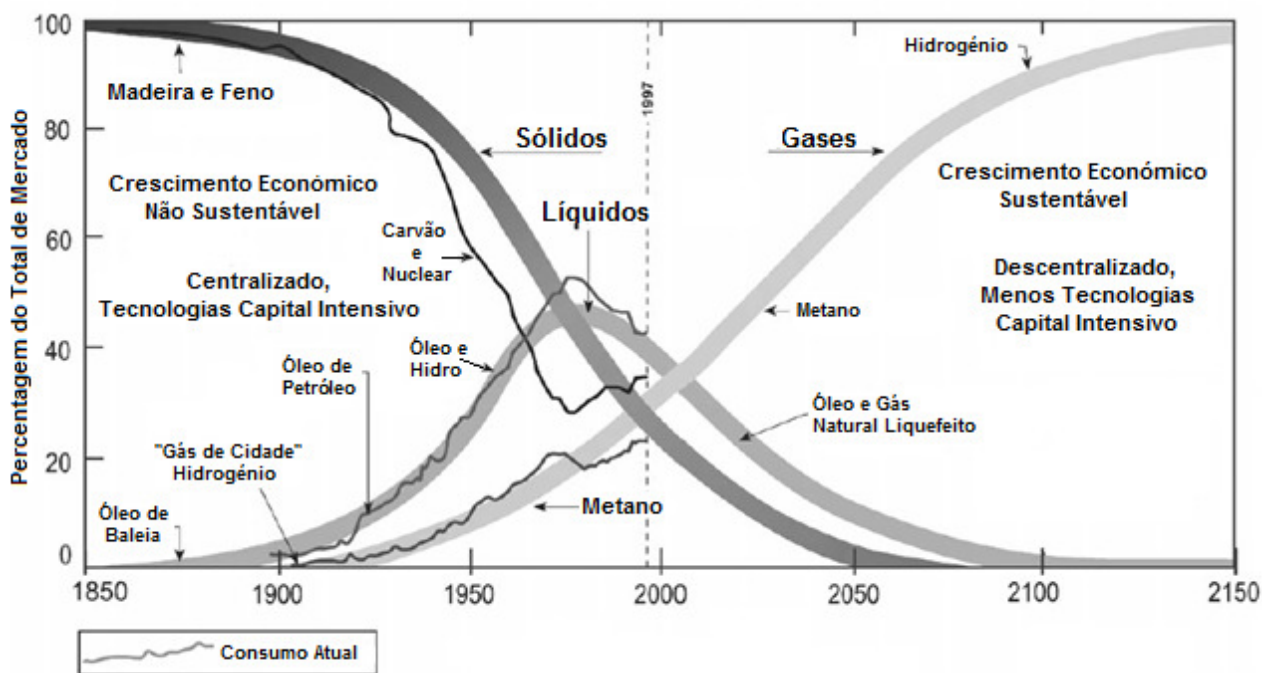


Figura 1.8 – Sistema de transição global de energia^[3]

O próximo combustível nesta transição é o H_2 , elemento mais leve e abundante do universo e a grande fonte de energia do sol. Ele encontra-se na água, nas formas de vida e combustíveis de hidrocarbonetos e já é utilizado nos programas espaciais e aplicações industriais devido ao desenvolvimento avançado das células de combustível. O seu aparecimento como um vetor energético poderá, inicialmente, utilizar as redes de gás natural já existentes para a sua distribuição e funcionar nas células de combustível de alta eficiência. Eventualmente, o H_2 poderá ter a sua rede de distribuição própria e ser criado pela separação da água utilizando energia proveniente do sol, do vento e de outras formas de energias renováveis^[3].

A descoberta do gás H_2 surgiu das dúvidas de cientistas e filósofos sobre o fato de a água e o oxigénio serem elementos básicos. Foi identificado em primeiro lugar pelo cientista britânico Henry Cavendish, que provou em 1776 à Royal Society de Londres a existência de diferentes tipos de ar: “ar fixo” ou dióxido de carbono, e “ar inflamável” ou H_2 . Ele

demonstrou também que este gás é muito mais leve que o ar e produziu água pela primeira vez com a ajuda de uma faísca elétrica. O cientista químico francês Antoine Lavoisier repetiu as experiências de Cavendish, e depois de várias tentativas também conseguiu combinar o H_2 e o O_2 para produzir água em 1785^[3].

Durante o século 19, as características e o potencial de utilização do H_2 foram discutidos por clérigos, cientistas e até escritores de ficção científica. Um dos mais conhecidos exemplos é o do engenheiro Jules Verne no romance *“The Mysterious Island”* onde informou os seus colegas: *“Sim, meus amigos, eu acredito que um dia a água vai ser utilizada como combustível, que o hidrogénio e o oxigénio que a constituem, utilizados isoladamente ou em conjunto, serão uma fonte inesgotável de calor e luz com uma intensidade que o carvão não é capaz de fornecer... A água será o carvão do futuro”*^[3].

Como jornalista, Peter Hoffmann documenta no seu novo livro, *Tomorrow's Energy: Fuel Cells, Hydrogen, and the Prospects for a Cleaner Planet*, que o interesse no H_2 cresceu na Europa após a Primeira Guerra Mundial devido à procura de uma autossuficiência energética. Outro jovem cientista escocês, J.B.S. Haldane, defendeu a produção de hidrogénio a partir da energia do vento para efetuar a eletrólise da água. Em paralelo o engenheiro germânico Rudolf Erren converteu camiões, autocarros, submarinos e motores de combustão interna para hidrogénio, impulsionado pelo desejo da Alemanha Nazista numa autossuficiência energética.

Na segunda guerra mundial e devido às exigências de novos combustíveis para diminuir os riscos nos cortes de abastecimento, o governo Australiano considerou a industrialização do H_2 , no entanto a vitória dos aliados fez o petróleo baixar de preço ficando a gasolina de novo disponível. Os militares dos Estados Unidos da América também exploraram o H_2 para utilizar na força aérea, no exército e na marinha – esforços que acabariam por conduzir a utilização do H_2 líquido no programa espacial dos Estados Unidos da América^[3]. Foi em 1950 e a partir de uma célula de combustível que combina H_2 e O_2 para produzir eletricidade e água. Na década seguinte, vários cientistas propuseram a utilização da energia solar para quebrar a molécula de água em H_2 e O_2 e depois os recombinar em células de combustível.

O ano de 1970 marcou a primeira utilização da frase *“hydrogen economy”*, pelos engenheiros da General Motors (GM) que previram o H_2 como *“o combustível para todos os tipos de transporte”*^[3]. Interesses científicos neste combustível liderados por académicos, engenheiros e entusiastas de carros na Califórnia e no Michigan, ganharam um novo impulso com a crise do petróleo em 1973, sugerindo que a era do petróleo barato tinha terminado. Os Governos dos Estados Unidos da América, Europa e Japão começaram, então, a financiar pesquisas nesse sentido embora em proporções menores do que as de dedicadas ao gás de síntese e à energia nuclear.

Desde o início dos anos 80, muitos continuam a pensar que a Economia do H_2 é o caminho^[3], no entanto nas duas últimas décadas o preço do petróleo caiu de novo para níveis historicamente baixos, levando à diminuição deste interesse. Continuaram os avanços tecnológicos nas células de combustível, debates sobre o futuro do petróleo e a preocupação com os impactos ambientais que discretamente reavivam a noção de um mundo pós-combustível fóssil. Estes desenvolvimentos representam impulsos ainda maiores para a mudança do que os citados na década de 1970. A ideia desta Economia alastrou-se de engenheiros para executivos, como é referido pela empresa General Motors com o seguinte dito (diretor executivo Robert Purcell) na reunião anual de petroquímica e associação de refinadores (Maio de 2000): “A nossa visão de longo prazo é a de uma Economia do Hidrogénio”^[3].

Mas quanto tempo demorará o sistema energético a evoluir nesta direção? As transições de energia anteriores foram impulsionadas por necessidades crescentes de energia, carências de determinados locais e procura contínua de fontes de energia mais abundantes e acessíveis. Na ascensão do petróleo e do gás natural, as questões ambientais locais e regionais ainda têm desempenhado um papel relativamente limitado. A taxa de produção de H_2 será influenciada pela crescente necessidade de energia, por pressões locais nos recursos convencionais e pela busca contínua de outros combustíveis sendo certo que as questões ambientais têm de ter uma maior enfase.

Na Figura 1.9, a título de exemplo, encontra-se representado um sistema de energia para o H_2 , onde se podem observar algumas formas de produção, transporte, armazenamento e aplicação^[3].

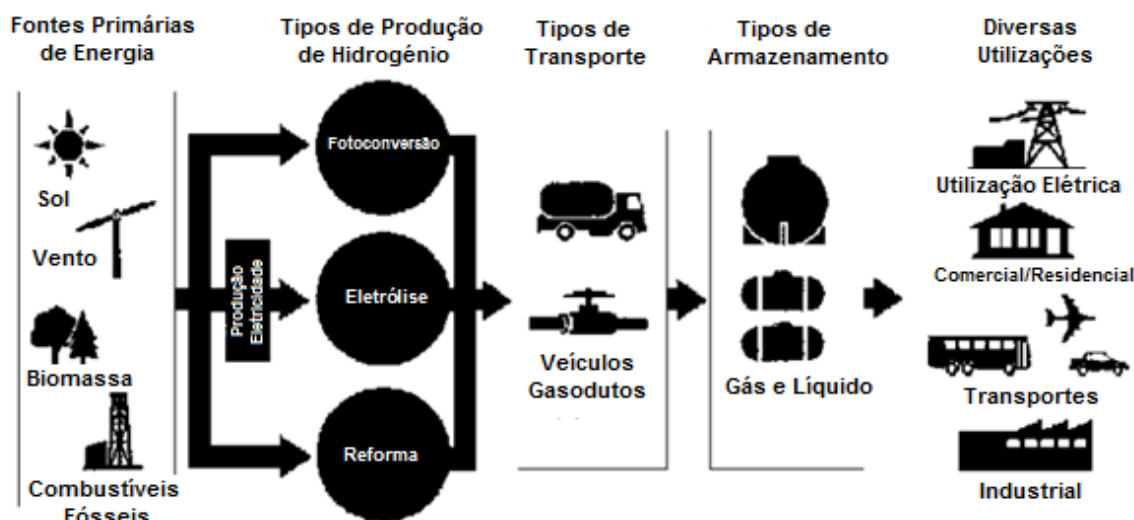


Figura 1.9 – Sistema de energia para o hidrogénio^[3]

A descoberta da eletrólise da água e o desenvolvimento de várias técnicas industriais permitiu suprir as carências do H_2 em diversas aplicações.

De um modo geral, pode-se classificar os desenvolvimentos da eletrólise da água em cinco etapas:

1. A descoberta e o reconhecimento do fenómeno (1800s-1920s).
2. A tecnologia tornou-se industrializada tal como na produção de amónia e na refinação de petróleo (1920s-1970s).
3. Os avanços da exploração espacial impulsionaram o desenvolvimento nas PEM. Em paralelo as necessidades militares provocaram o desenvolvimento da eletrólise alcalina a alta pressão para aplicações submarinas (1970s-presente).
4. A integração das energias renováveis na produção, armazenamento e utilização das utilidades do H_2 , especialmente em comunidades remotas (presente).
5. Aparecimento de novas conceções como a fotovoltaica com efeito fotoelétrico, ou a de vapor que utiliza um eletrólito em estado sólido para realizar a separação das moléculas da água (desenvolvimentos recentes).

Um conceito recente são as membranas que permitem a passagem seletiva dos iões mas não a dos gases. A primeira membrana comercializada era constituída por amianto, sendo bastante popular na fase inicial. No entanto verificou-se que não era muito resistente à corrosão provocada pelo forte ambiente alcalino e as temperaturas elevadas. Mais recentemente, devido aos sérios efeitos adversos para a saúde, o amianto foi gradualmente substituído por outros materiais poliméricos, tais como ácido perfluorosulfónico, éter arileno e politetrafluoretileno^[10].

Outro desenvolvimento interessante foi o das células de eletrólise. Estas são células tipicamente convencionais com uma configuração monopolar, são simples, fiéis e flexíveis. Outras células, as prensadas, têm uma configuração bipolar com vantagens como a baixa perda *ohmica* e a maior compactação. As desvantagens destas últimas são a sua complexidade estrutural, os requisitos para a circulação de eletrólitos e os eletrólitos que permitem a separação gasosa^[10].

O elétrodo e a seleção do material para a sua constituição devem considerar a resistência à corrosão, a alta condutividade, o alto efeito catalisador e o baixo preço. O aço inoxidável é um exemplo porque é um material barato com baixo sobrepotencial, no entanto não resiste a soluções alcalinas de alta concentração. Outros materiais tais como os metais nobres e à base de chumbo, ou não resistem ao meio alcalino ou são demasiado caros para serem utilizados como materiais a granel. O níquel também foi identificado como sendo um bom material por ter uma boa resistência à corrosão, quando comparado com outros metais de transição, e tornou-se mais popular no desenvolvimento dos eletrolisadores de água. Ele

apresenta uma razoável capacidade para produzir H_2 e, atualmente, muito do esforço na investigação tem sido dedicado à compreensão da influência das propriedades físicas e dos efeitos das suas ligas^[10].

Na segunda metade do século XX surgem os eletrolisadores pressurizados e com PEM, assim como os eletrolisadores compactos e de alta pressão (até 3,5 MPa) para produção de O_2 a bordo de submarinos^[10]. Estudos recentes têm tido o objetivo de reduzir o custo das membranas e dos eletrolisadores em pequena escala. Sobre os sistemas de eletrólise PEM pode-se dizer que oferecem várias vantagens sobre as tecnologias tradicionais de eletrólise alcalina da água, incluindo uma maior eficiência energética, altas taxas de produção e um *design* mais compacto. No entanto têm também algumas desvantagens, nomeadamente a curta durabilidade da membrana, o custo, as exigências sobre componentes, elétrodo porosos e coletores de corrente^[10].

No final de 1980, Aswan instalou 144 eletrolisadores com uma potência nominal de 162 MW e com uma capacidade para produzir hidrogénio de $32,400 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Uma unidade altamente modularizada é o eletrolisador Brown Boveri que pode produzir H_2 a uma taxa de entre 4 e $300 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$.

Recentemente tem havido novos desenvolvimentos, nomeadamente a eletrólise fotovoltaica e a eletrólise de vapor. A utilização da energia solar como fonte de energia para a eletrólise foi primeiramente utilizada por Fujishima and Honda. Neste caso um elétrodo de dióxido de titânio foi aplicado para capturar luz ultravioleta, que posteriormente é diretamente aplicada para decompor a água em hidrogénio e oxigénio. Como as energias renováveis recebem cada vez mais interesse, a eletrólise fotovoltaica tornou-se outra inovação na produção de hidrogénio. Na Figura 1.10 encontra-se representado, a título de exemplo, a eletrólise fotovoltaica da água^[10].

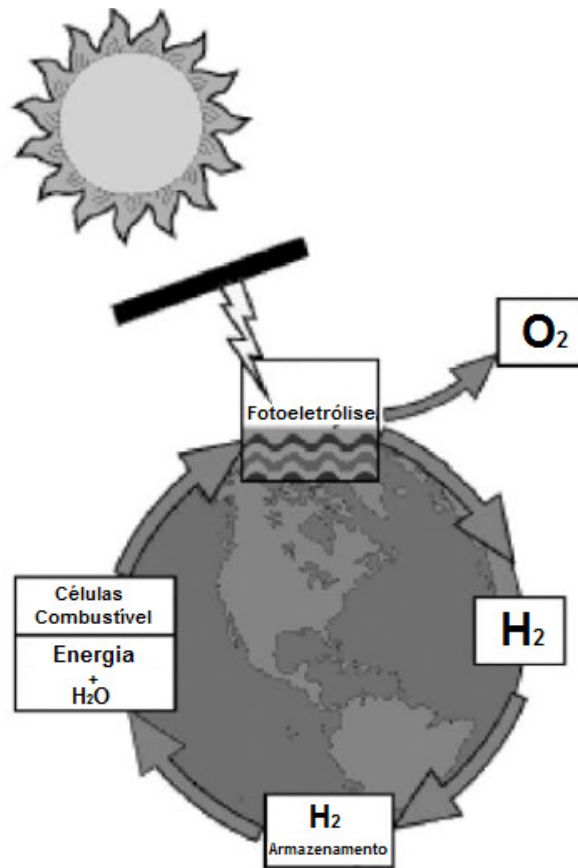


Figura 1.10 – Eletrólise fotovoltáica da água^[3]

Também recente é a tecnologia da eletrólise de vapor utilizando uma célula eletrolítica sólida. A célula realiza uma operação inversa de uma célula de combustível de óxido sólido, a alta temperatura (por volta dos 820 a 1073 K) para que a separação da água seja termodinamicamente favorecida. A corrente passa através do cátodo do eletrólito sólido, onde a água é reduzida a hidrogénio, libertando iões óxido (O^{2-}). Estes, migram através do eletrólito para o ânodo, onde se vão combinar para formar moléculas de oxigénio^[10].

2.CAPÍTULO - ESTUDO DA INSTALAÇÃO DE UM FOTOELETROLISADOR DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DE H₂ E O₂

2.1. A Unidade Atual de Produção de O₂

A empresa Gasoxmed dedica-se atualmente ao enchimento de cilindros pressurizados e recipientes criogénicos de O₂ medicinal. A matéria-prima, o oxigénio, é comprada à empresa mãe, Gasmedi, que a produz nas suas instalações em Espanha por destilação criogénica. Este gás é transportado numa cisterna criogénica, e após a sua receção é devidamente analisado e armazenado num depósito criogénico com capacidade para 30000 litros. Uma bomba criogénica bombeia-o através de um evaporador, cuja finalidade é mudar o estado físico de líquido para gás sendo finalmente armazenado nos cilindros a uma pressão de 200 bares.

Paralelamente a este processo, tem-se também uma rampa de enchimento de recipientes criogénicos. Aqui o processo é mais simples, uma vez que apenas existe um circuito direto do depósito de armazenamento, controlado por uma válvula globo, que permite o enchimento dos recipientes à pressão atmosférica e à temperatura de 90K.

Após o enchimento, quer os recipientes criogénicos quer os cilindros pressurizados são levados para a área de controlo da qualidade onde são analisados. Se estiverem dentro das especificações da farmacopeia europeia, podem então ser levados para o armazém de distribuição para poderem ser distribuídos.

2.2. Diagrama de Fluxo da Instalação Atual

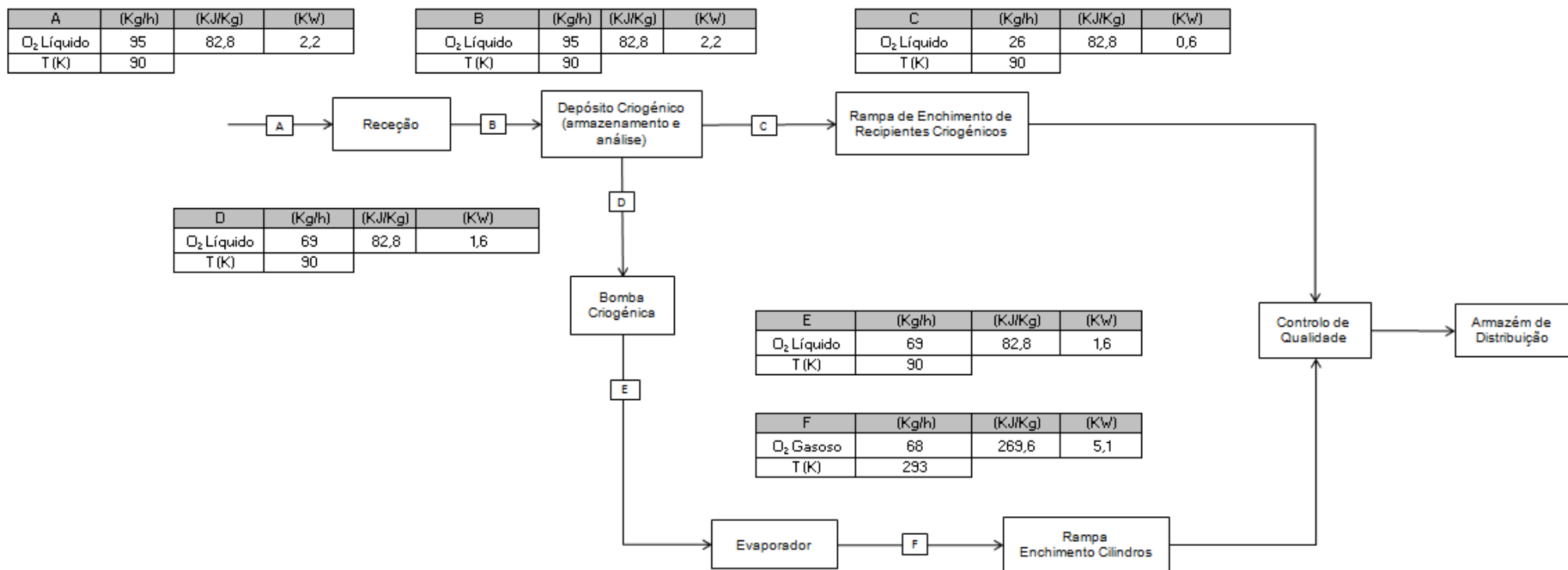


Figura 2.1 - Diagrama de fluxo da instalação atual

2.3. Necessidades Mássicas do Processo Atual

Começou-se por avaliar as necessidades mássicas do processo atual de enchimento que irá ser alvo de uma reformulação.

2.3.1. Secção 1 – Receção e Transferência do Oxigénio para o Depósito Criogénico

O oxigénio é transportado numa cisterna criogénica a uma temperatura de 90K (-183°C) desde a empresa mãe até à Gasoxmed. Após a sua receção (representada pela corrente A na Figura 2.2), é efetuada a transfega do líquido para o depósito (corrente B da Figura 2.2) onde será armazenado, igualmente a uma temperatura de 90K, e por fim analisado para poder ser utilizado no enchimento dos recipientes criogénicos e dos cilindros pressurizados.

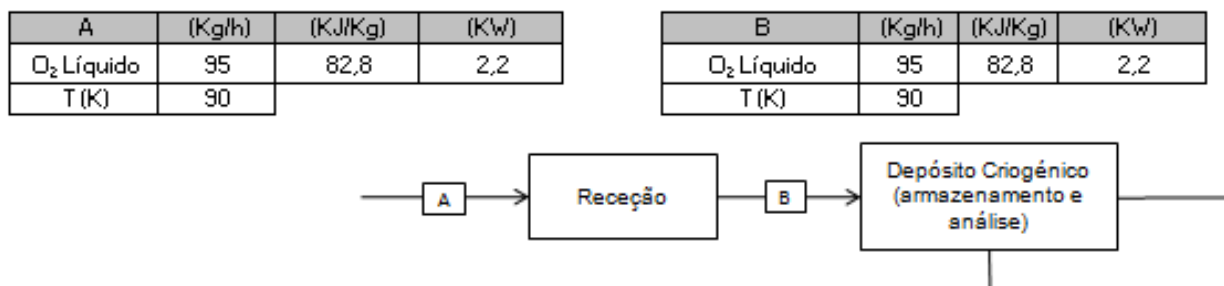


Figura 2.2 – Detalhe do processo de receção do oxigénio na instalação inicial

Com base nas necessidades da empresa, 2000 litros diários (consultar anexo B), e tendo em conta que 1 litro de oxigénio líquido equivale a 1,141 kg (consultar anexo A sobre as características do oxigénio), determinou-se um caudal de 95 kg/h (83 l/h) a sair do depósito criogénico destinado ao enchimento de todos os recipientes.

2.3.2. Secção 2 – Enchimento dos Recipientes Criogénicos

Nesta secção determinou-se qual o caudal utilizado no enchimento dos recipientes criogénicos. Atendendo a que se enchem diariamente 12 recipientes à pressão atmosférica e a uma temperatura de 90 K, e que cada um tem uma capacidade de 45 litros (consultar anexo B relativo aos dados fornecidos pela empresa), sabendo que 1 litro de oxigénio líquido equivale a 1,141 kg, obteve-se um caudal de 26 kg/h, representado na Figura 2.3 pela corrente C. Todo o processo de enchimento dos recipientes criogénicos encontra-se detalhado na Figura 2.3.

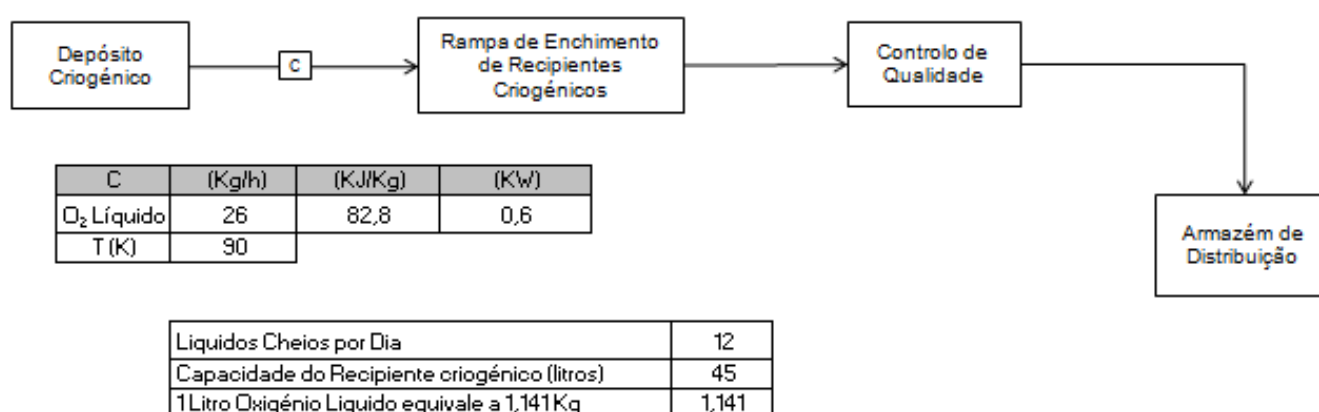


Figura 2.3 - Detalhe do processo de enchimento dos recipientes criogénicos na instalação inicial

2.3.3. Secção 3 – Enchimento dos Cilindros Pressurizados

Sendo as necessidades da empresa de 95 kg/h a entrar no depósito criogénico, e desses, 26 são utilizados no enchimento dos recipientes criogénicos, então para o enchimento dos cilindros vai-se ter um caudal de 69 kg/h de oxigénio líquido (90K) a sair do depósito (corrente D na Figura 2.4).

Tendo em conta que para o enchimento dos cilindros é necessário passar de líquido a gás (ver Figura 2.4 a corrente E é vaporizada no evaporador e dá origem a F), será necessário calcular qual o caudal de oxigénio gasoso correspondente. Assim, de acordo com os dados fornecidos no anexo A e visíveis na Figura 2.4, determinou-se um caudal de oxigénio gasoso de 68 kg/h.

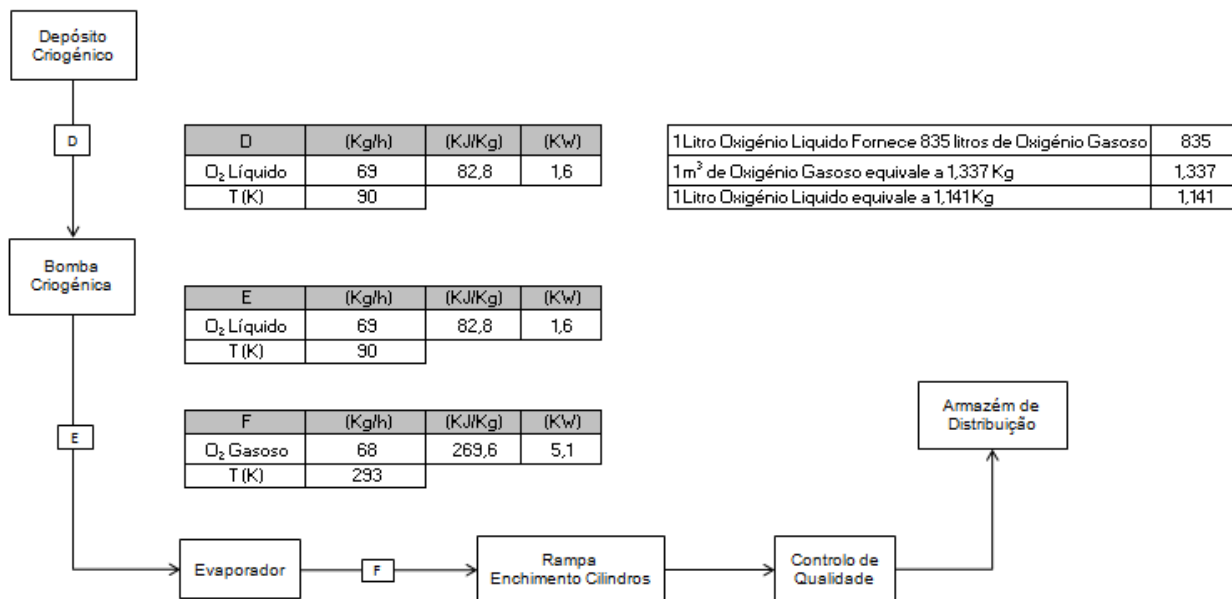


Figura 2.4 – Detalhe do processo de enchimento dos cilindros na instalação inicial

Na Tabela 2.1, encontram-se descritas, em forma de resumo, as necessidades mássicas da instalação atual.

Tabela 2.1 – Necessidades mássicas da instalação atual

Processo	Caudal (kg/h)
Saída do depósito de armazenamento	
(oxigénio líquido)	95
Destinado ao enchimento de recipientes criogénicos	
(oxigénio líquido)	26
Destinado ao enchimento de cilindros pressurizados	
(oxigénio líquido)	69

2.4. Projeto da Instalação de um Fotoeletrolisador de Água para Produção de H₂ e O₂

O que se pretende com este projeto é alargar os horizontes da empresa, começando a produzir e comercializar hidrogénio, utilizando uma técnica amiga do ambiente, a fotoeletrolise da água, na medida em que não produz resíduos tóxicos e utiliza como fonte a energia solar. Como na fotoeletrolise da água também se produz oxigénio, surgiu a ideia de o aproveitar para utilização industrial em vez de o libertar no meio ambiente. Pretende-se, então, determinar a viabilidade deste projeto tornando a empresa não só distribuidora de oxigénio medicinal, mas também de oxigénio industrial e de hidrogénio.

A nova instalação, com finalidade industrial, será montada num armazém paralelo ao existente, e terá total independência da área de produção atual (utilização medicinal). O que ficará a servir as duas instalações serão apenas a secção de controlo da qualidade e o armazém de distribuição. Portanto, neste estudo apenas será avaliado o novo processo de fabrico uma vez que toda a unidade fabril inicial se manterá igual.

Um eletrolisador produzirá hidrogénio que será conduzido a um compressor para ser comprimido e, posteriormente, armazenado em cilindros na rampa de enchimento. O oxigénio será encaminhado para outro compressor que o comprimirá e, posteriormente o armazenará em cilindros na respetiva rampa de enchimento do oxigénio industrial.

2.5. Diagrama de Fluxo da Instalação do Foeletrólizador Alimentado a Energia Solar

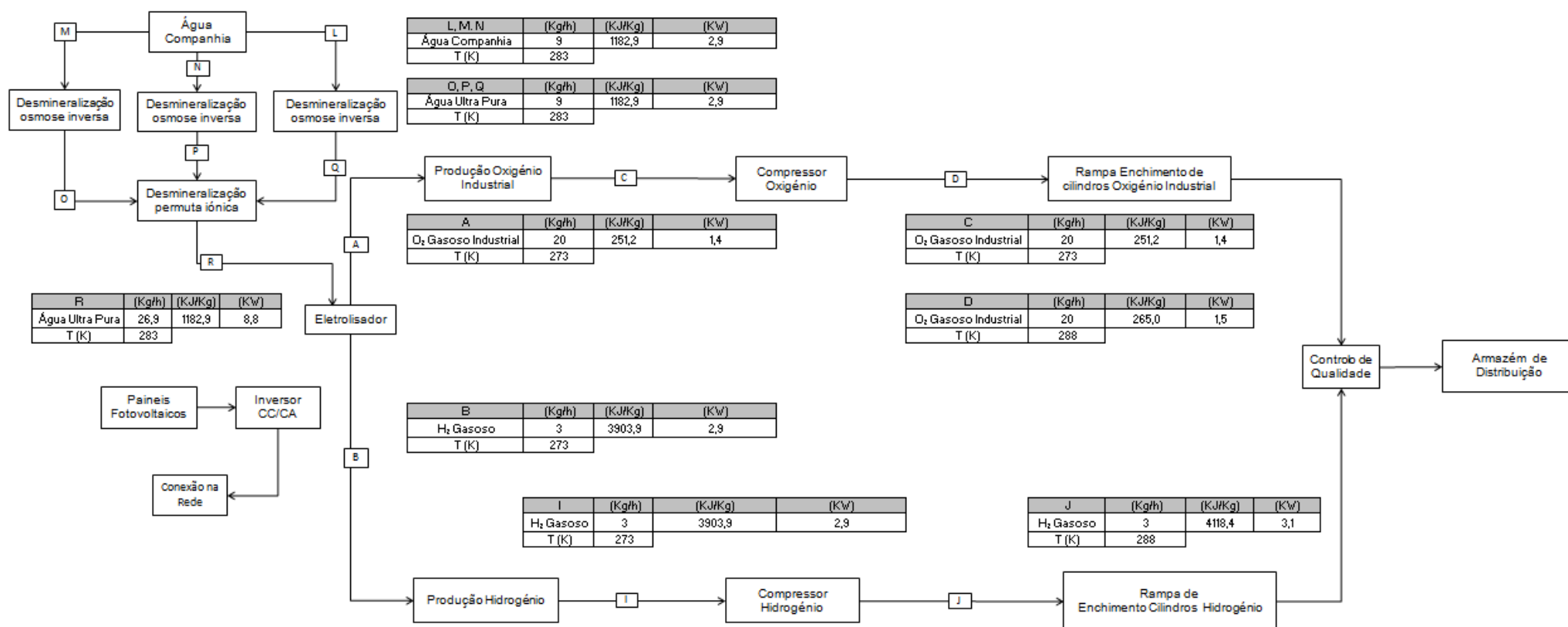


Figura 2.5 - Diagrama de fluxo da instalação do fotoeletrolisador de água alimentado a energia solar

2.6. Balanços Mássicos das Produções de H₂ e O₂ no Fotoeletrolisador

Avaliou-se o novo processo de produção tendo como base a produção de hidrogénio e oxigénio gasosos no eletrolisador.

2.6.1. Secção 1 – Produção de H₂, Sua Compressão e Armazenagem

As principais aplicações do hidrogénio são a indústria química, a petroquímica, do vidro, a eletrónica, a metalúrgica e a indústria automóvel, embora esta última ainda em franco desenvolvimento. Estas serão o principal mercado alvo do fabrico do hidrogénio.

Para o efeito, escolheu-se um eletrolisador da marca Proton modelo C30 cujas características se encontram descritas no anexo C. Este equipamento consegue produzir 30 m³/h (cerca de 3 kg/h) de hidrogénio com grande grau de pureza, 99.9998%, corrente B na Figura 2.6, necessitando de 26,9 kg/h de água ultra pura e 5,8 kWh por cada m³ de hidrogénio produzido.

Para purificar a água da companhia abaixo de 0,1 µS/cm (condição recomendada pelo fornecedor do eletrolisador), faz-se passá-la por uma unidade compacta de desmineralização por osmose inversa com medidor TDS (total sólidos dissolvidos) da marca Tecnifiltro. Uma vez que o caudal de água necessário ao eletrolisador são 26,9 kg/h e cada unidade compacta não permite um fluxo superior a 285 L/dia, então será necessário dividir o caudal por três unidades compactas. Posteriormente, estas correntes juntam-se e passa-se toda a água num desmineralizador de permuta iónica modelo Mark 5, também ele da Tecnifiltro (correntes L, M, N, O, P, Q e R na Figura 2.6). As respetivas características dos desmineralizadores encontram-se descritas no anexo D.

Após a produção de H₂, este será armazenado em cilindros a uma pressão de 200 bares com ajuda de um compressor numa rampa de enchimento cujas características se encontram descritas no anexo E. O compressor escolhido é da marca RIX modelo Rix 2V de 2 estágios, com capacidade de compressão até 240 bares para uma pressão de entrada no compressor até 35 bares, disponibilizando um caudal de 30 m³/h. As suas características técnicas estão descritas no anexo F.

Depois de cheios, os cilindros são levados para o controlo de qualidade para serem analisados e posteriormente para o armazém de distribuição para poderem ser enviados para os clientes. Na Figura 2.6 pode-se visualizar com pormenor a produção e armazenagem do hidrogénio.

Produção de Hidrogénio por Fotoeletrolíse da Água – Aproveitamento do Subproduto Oxigénio

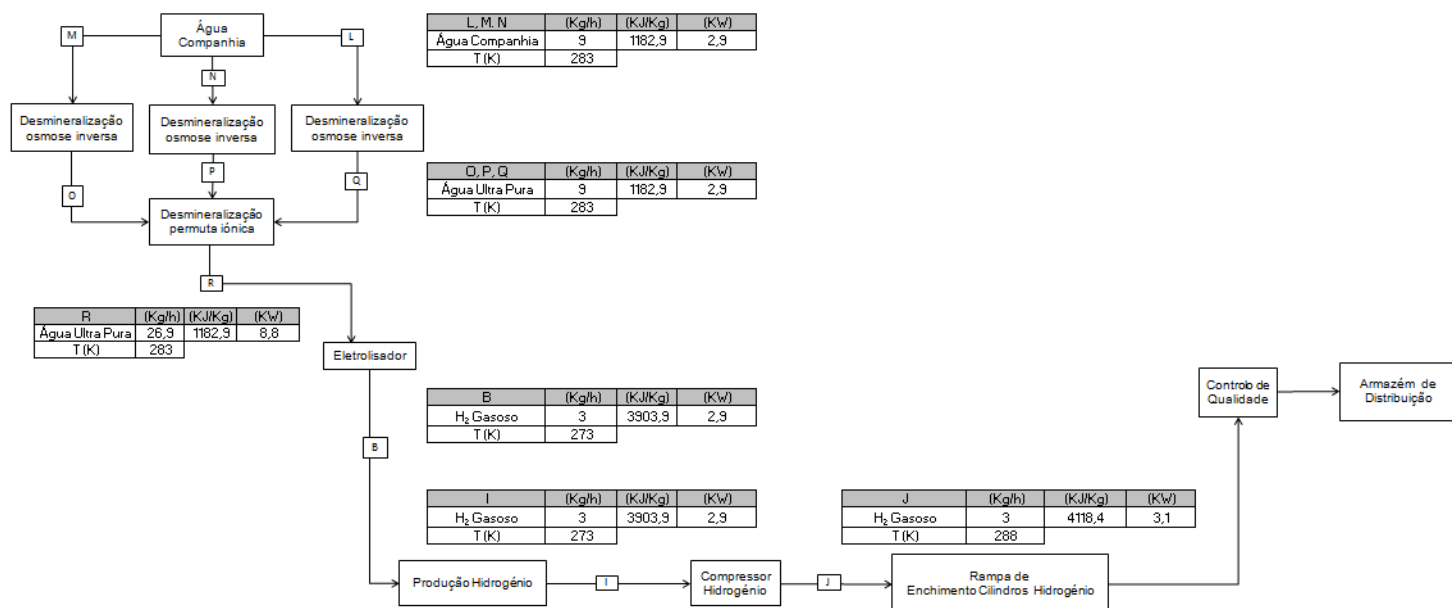


Figura 2.6 – Detalhe da produção de hidrogénio no eletrolisador, sua compressão e armazenagem

2.6.2. Secção 2 – Produção de O₂, Sua Compressão e Armazenagem

Como subproduto da produção de hidrogénio no eletrolisador tem-se o oxigénio na proporção de 1:2, segundo a reação química 3 visualizada no subcapítulo 1.1.3. O O₂ é dirigido para enchimento nos cilindros pressurizados tendo em vista o mercado industrial.

Na eletrólise serão produzidos 30 m³/h de hidrogénio, ou seja 15 m³/h (cerca 20 kg/h) de oxigénio gasoso com 98% de grau de pureza. Após a sua produção, este será comprimido num compressor de oxigénio com capacidade de compressão até 206 bares (pressão de entrada até 2 bares) disponibilizando um caudal até 21 m³/h (características no anexo G). A armazenagem do O₂ nos cilindros a uma pressão de 200 bares é realizada na respetiva rampa de enchimento (características no anexo E).

Na Figura 2.7 pode visualizar-se com detalhe a produção do oxigénio e sua armazenagem.

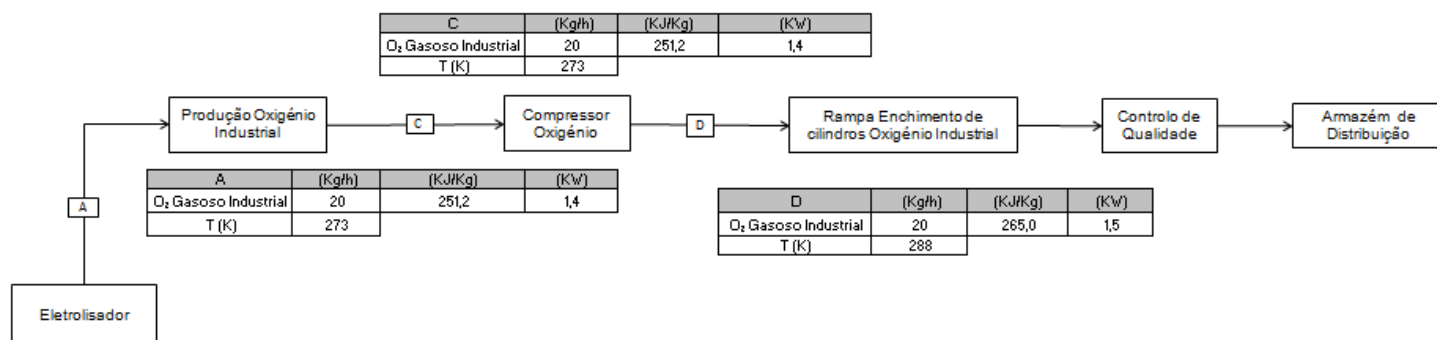


Figura 2.7 - Detalhe da produção de oxigénio no eletrolisador, sua compressão e armazenagem

Em forma de resumo, na Tabela 2.2, encontram-se descritos os balanços mássicos do projeto de instalação do eletrolisador.

Tabela 2.2 – Balanços mássicos do projeto de instalação do eletrolisador

Processo	Caudal (kg/h)
Produção de hidrogénio gasoso	3
Produção de oxigénio gasoso	20
Consumo de água	26,9

2.7. Sistema de Produção de Energia Fotovoltaica

Tendo como desafio o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para alimentar o novo processo de produção na Gasoxmed, efetuou-se um estudo pormenorizado de vários fatores que condicionam a elaboração deste estudo.

2.7.1. Enquadramento Legal

Da Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020), o ministério da economia, da inovação e do desenvolvimento estabeleceu em 8 de Março de 2011 o Decreto-Lei nº 34/2011^[22], que é o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência designadas por unidades de Miniprodução. Do respetivo decreto, destacam-se os seguintes pontos:

Legislação sobre a Miniprodução

Estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade a partir de recursos renováveis por intermédio de unidades de Miniprodução, definindo unidade de Miniprodução como instalações de produção de eletricidade a partir de:

- Energias renováveis.
- Com potência até 250 kW.
- Baseada numa única tecnologia de produção.

Os escalões da potência de ligação são definidos da seguinte forma:

- Escalão I – até 20 kW inclusive.
- Escalão II – superior a 20 kW e inferior ou igual a 100 kW.
- Escalão III – superior a 100 kW e inferior ou igual a 250 kW.

As condições de acesso à atividade de Miniprodução são:

- Instalar uma unidade de Miniprodução no local servido pela instalação de utilização, com contrato de compra e venda de eletricidade.
- Potência de ligação à rede até de 50% da potência contratada.
- A energia consumida na instalação de utilização superior a 50% da energia produzida pela instalação de Miniprodução, ou seja só se pode produzir o dobro do que se consome.
- Pode ser produtor uma entidade terceira que ao abrigo de contrato escrito, esteja autorizado pelo titular do contrato de compra de eletricidade.
- Não são acumuláveis registos de unidades de Microgeração e Miniprodução numa mesma instalação de utilização.
- O promotor deve averiguar as condições técnicas de ligação à rede no local onde pretende instalar a Miniprodução.

Como suspensões ou restrições ao registo temos que quando o somatório das potências de injeção ligadas a um posto de transformação ou subestação ultrapassa o limite de 20% da potência daqueles, pode ser restringido o acesso a novos registos, mediante pré-aviso de cinco dias de antecedência divulgado no SRMini (sistema de registo da miniprodução).

Os direitos do produtor passam por estabelecer uma unidade de Miniprodução por cada instalação elétrica de utilização e vender a totalidade da energia ativa produzida, líquida do

consumo dos serviços auxiliares. Os deveres do produtor serão entregar à rede RESP (rede elétrica de serviço público) a totalidade da energia produzida e suportar os custos da ligação.

Os regimes remuneratórios são os seguintes:

- Regime Geral – Para instalações não enquadráveis no regime bonificado.
- Regime Bonificado – Aplicável às instalações que preencham os requisitos:
 - A potência da unidade de Miniprodução é superior ao limite legal das unidades de Microgeração (3,68 kW).
 - A unidade de Miniprodução utilize uma das fontes de energia renovável previstas.
 - Realização prévia de auditoria energética que determine a implementação de medidas de eficiência energética, com período de retorno:
 - Escalão I – 2 anos
 - Escalão II – 3 anos
 - Escalão III – 4 anos
 - O cumprimento das medidas identificadas na auditoria é reportado à DGEG (direção geral de energia e Geologia) até à sua total implementação.

Como regime bonificado – tarifas, tem-se:

- Escalão I – Remunerado à tarifa de referência.
- Escalões II e III – remunerados com a tarifa mais alta que resultar das maiores ofertas de desconto à tarifa de referência apuradas nos respetivos escalões, nos termos do limite da cota da potência estabelecida na programação de disponibilização de potências.
- A tarifa é aplicável desde o início do fornecimento à rede e vigora por um período de 15 anos contados do primeiro dia do mês seguinte ao início do fornecimento. Após esse período ingressa no regime geral.
- A tarifa de referência é fixada nos 250€/MWh reduzindo sucessivamente 7% ao ano.
- O valor da tarifa varia consoante a fonte de energia primária:
 - Solar-100%
 - Eólica – 80%
 - Hídrica – 50%
 - Biogás e Biomassa – 60%

A remuneração e faturação assentam nos seguintes pressupostos:

- A energia vendida é limitada a 2,6 MWh/ano (2600 kWh) para a Solar e Eólica e a 5MWh/ano para as restantes, por cada kW de potência de ligação.
- A cota de potência anual a alocar à Miniprodução será de 50 MW, sendo que para o escalão I não será superior a 25% daquele valor.
- Só o comercializador que fornece eletricidade para consumo à instalação pode e deve celebrar contrato de compra e venda da energia resultante da Miniprodução.
- O pagamento é feito diretamente ao produtor mediante transferência bancária;

Por último, o registo e ligação à rede são feitos da seguinte forma:

- Será disponibilizada uma plataforma SRmini no sítio da internet www.renovaveisnagora.pt (já ativo para Miniprodução desde 09-Maio-2011).
- As funcionalidades do SRMini serão idênticas ao SRMicro (sistema de registo para Microgeração).
- Os registos das unidades de Miniprodução são processados no SRMini.
- A realização da inspeção deve ser solicitada através do SRMini até:
 - 6 Meses para instalações de baixa tensão contados da data de registo.
 - 8 Meses para as restantes instalações, contados da data de registo.
 - 24 Meses no caso das mini-hídricas e 16 meses em regimes jurídicos de contratação pública ou avaliação de incidências ou impactos ambientais.
- A inspeção é efetuada nos 10 dias subsequentes ao pedido de inspeção.
- As taxas a cobrar são:
 - Registo de Unidade de Miniprodução no escalão I – 500€ + IVA
 - Registo de Unidade de Miniprodução no escalão II – 1000€ + IVA
 - Registo de Unidade de Miniprodução no escalão III – 2000€ + IVA
 - O pagamento tem que ser feito no prazo máximo de 5 dias a contar da notificação.
- Anualmente serão alvos de fiscalização pelo menos 1% das instalações existentes;
- O não cumprimento de obrigações a que a Miniprodução exige pode constituir contraordenação punível de 250€ a 44.800€ segundo artigo 27º do decreto-lei n.º 34/2011;
- Caso o promotor não tenha local mas queira investir, mediante contracto com terceiro de cedência de espaço pode fazer instalações revertendo a receita da venda de energia para quem investe.

2.7.2. Localização e Determinação da Área Disponível para a Instalação

Os locais escolhidos para a instalação do sistema fotovoltaico tendo como objetivo a produção da maior quantidade de energia elétrica possível (máximo de 250 KWh), foram os telhados do edifício atual da empresa e do novo armazém a ser alugado, paralelo ao atual. Assim, e tendo em conta que o armazém atual dispõe de uma área de teto de 1200 m² e o novo de 1000 m², tem-se que a área total de 2200 m². Na Figura 2.8 pode visualizar-se uma fotografia satélite dos armazéns onde irá ser instalado o sistema fotovoltaico, obtida utilizando a aplicação “*Google Earth*” disponível na internet.



Figura 2.8 - Fotografia de satélite dos armazéns onde irá ser instalado o sistema fotovoltaico

Na Figura 2.9 mostra-se a título de exemplo uma instalação de um sistema fotovoltaico num telhado cuja apresentação será muito próxima do que se pretende neste projeto.



Figura 2.9 - Exemplo de um sistema fotovoltaico instalado no telhado de um edifício

2.7.3. Dimensionamento

De acordo com a área disponível para a instalação do sistema fotovoltaico (2200 m^2) e a potência máxima da instalação (250 kW) solicitou-se à empresa JG Instalações Elétricas o dimensionamento pretendido. Segundo a mesma, o módulo fotovoltaico aconselhado será um policristalino de alto rendimento, com eficiência entre os 14,6 e os 15,2%, da marca Suntech e de potência 230 W (características no anexo H). O inversor sugerido para injeção na rede será um Schneider Electric de 20 kW (características no anexo I).

Na Tabela 2.3 encontra-se descrito o dimensionamento efetuado pela empresa relativamente ao número de módulos fotovoltaicos, de inversores e respetivo material de ligação à rede necessário ao projeto.

Tabela 2.3 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico proposto pela empresa JG Instalações Elétricas

Tipo	Quantidade / unidades
Módulo Fotovoltaico Suntech de 230 W	1194
Estrutura de Fixação	1194
Inversor Schneider Electric 20 kW	12
Quadro de Proteção	1
Kit de Interligação	1
Posto de Transformação 250 kVA – Contagem	1
Kit Terras	1

3.CAPÍTULO – AVALIAÇÃO ECONÓMICA DA INCLUSÃO DA NOVA UNIDADE FABRIL

3.1. Avaliação dos Consumos e Custos Energéticos

3.1.1. Instalação Atual

Com base nos dados fornecidos pela empresa Gasoxmed, descritos no anexo B, e tendo em conta o custo inerente à potência contratada de 41,4 kVA no escalão BTN – Médias Utilizações, bem como o custo de cada kWh em horas de vazio, de ponta ou cheias, disponibilizado pela entidade reguladora (consultar anexo J) determinou-se o custo mensal energético médio da instalação em 850€/mês, perfazendo no final do ano o valor de 10.196€. Na Tabela 3.1, pode consultar-se todos estes resultados.

Tabela 3.1 – Consumo mensal energético médio e respetivo custo da instalação atual da empresa

	Cliente BTN - Médias Utilizações		
	Potência Contratada - 41,4 Kva		
	Quantidade / kWh	€ / kWh	Total / €
Potência / € dia	30	2,0385	61
Consumo Médio em Horas Vazio / mês	1000	0,0777	78
Consumo Médio em Horas Ponta / mês	1300	0,2779	361
Consumo Médio em Horas Cheias / mês	2500	0,1398	350
Total Mensal	4800	-----	850
Total Anual	57600	-----	10.196

3.1.2. Nova Unidade Fabril

A avaliação dos consumos energéticos inerentes à nova unidade fabril e novos equipamentos foi realizada e na Tabela 3.2 podem observar-se esses valores de acordo com as características fornecidas pelos fornecedores.

Tabela 3.2 – Consumos energéticos dos equipamentos a adquirir necessários ao novo processo de produção

Tipo	Consumo / kWh
Eletrolisador	174
Compressor Hidrogénio	8
Compressor Oxigénio	11
Sistema de Purificação da Água	1
Rampa de Enchimento de Cilindros Hidrogénio	1
Rampa de Enchimento de Cilindros Oxigénio	1
Total	199

Desta análise verificou-se que a potência atual de 41,4 kVA não será suficiente para a nova instalação, sendo necessários pelo menos 199 kVA. Por outro lado e de acordo com a lei, para se instalar um sistema fotovoltaico de determinada potência, tem de se ter obrigatoriamente o dobro da potência requerida à minigeração. Será necessário requerer uma nova potência de instalação, passando a empresa do escalão BTN – Médias Utilizações com 41,4 kVA para o escalão MT – longas utilizações com potência requerida de 500 kVA.

Na Tabela 3.3 pode visualizar-se os novos consumos energéticos bem como os respetivos custos associados à nova planta de produção, estando também incluídos os da instalação inicial. Tem-se, assim, um novo consumo mensal estimado para os períodos I e IV de 44976 kWh o que corresponde a 9.126€, e para os períodos II e III de 44976 kWh correspondendo a 9.219€. As tarifas propostas pela entidade reguladora dos serviços energéticos encontram-se discriminadas no anexo J.

Tabela 3.3 – Consumo mensal energético médio e respetivo custo em euros da nova instalação

		Cliente MT Longas Utilizações		
		Potência Contratada - 500 kVA		
		Quantidade / kWh	€ / kWh	Total / €
Tarifário Fixo / € dia		30	1,5759	47
Potência Horas Ponta / kW		500	0,2945	4.418
Contratada / kW		500	0,0458	687
Período I, IV	Consumo Estimado em Horas Ponta mês	5984	0,1215	727
	Consumo Estimado em Horas Cheias mês	26960	0,0936	2.523
	Consumo Estimado em Horas Vazio e Super Vazio mês	11960	0,0600	718
Período II, III	Consumo Estimado em Horas Ponta mês	5984	0,1253	750
	Consumo Estimado em Horas Cheias mês	26960	0,0962	2.594
	Consumo Estimado em Horas Vazio e Super Vazio mês	11960	0,0600	718
Total Mensal Estimado Período I, IV		44904	-----	9.120
Total Mensal Estimado Período II, III		44904	-----	9.213
Total Anual Estimado		538848	-----	109.996

3.1.3. Sistema de Miniprodução Fotovoltaica

Na Tabela 3.4 pode visualizar-se a produção energética anual do sistema de Miniprodução a 25 anos, de acordo com o dimensionamento proposto pela empresa JG instalações elétricas, bem como a remuneração anual por venda da eletricidade produzida à rede. O sistema terá uma perda de eficiência anual em cerca de 0,3% e segundo o Decreto-Lei n.º 34/2011 que contém a tarifa de venda à rede, neste momento e durante os primeiros 15 anos será abrangido pelo regime bonificado. O valor da tarifa de venda é de 0,145€ por cada kWh produzido e a partir daí entra-se no regime geral, ou seja, 0,1046€ atuais prevendo-se um incremento de 3% ano. A partir do 15º ano a tarifa de venda terá também esse incremento de 3%, ressalvando que o preço de venda tem de ser sempre superior ao da compra. No anexo J, encontra-se discriminado o orçamento e o estudo de rentabilidade propostos pela empresa.

Tabela 3.4 – Produção energética do sistema de Miniprodução a 25 anos e respetiva remuneração por venda da eletricidade produzida

Ano	Miniprodução		
	Energia Produzida / kWh	Tarifa Venda (€/kWh)	Total / €
1	419587	0,145	60.840
2	418328	0,145	60.658
3	417073	0,145	60.476
4	415822	0,145	60.294
5	414575	0,145	60.113
6	413331	0,145	59.933
7	412091	0,145	59.753
8	410855	0,145	59.574
9	409622	0,145	59.395
10	408393	0,145	59.217
11	407168	0,145	59.039
12	405946	0,145	58.862
13	404729	0,145	58.686
14	403513	0,145	58.509
15	402304	0,145	58.334
16	401097	0,180	72.197
17	399894	0,185	74.140
18	398694	0,191	76.135
19	397498	0,197	78.184
20	396305	0,203	80.288
21	395117	0,209	82.449
22	393931	0,215	84.667
23	392749	0,221	86.946
24	391571	0,228	89.285
25	390396	0,235	91.688
Média / Anual	404824	-----	68.387
Média / Mensal	33735	-----	5.699

Na Figura 3.1 mostra-se em termos gráficos a produção energética anual do sistema de Miniprodução, visualizando-se a perda de eficiência de 0,3%/ano. E na Figura 3.2 apresenta-se a produção energética anual média.

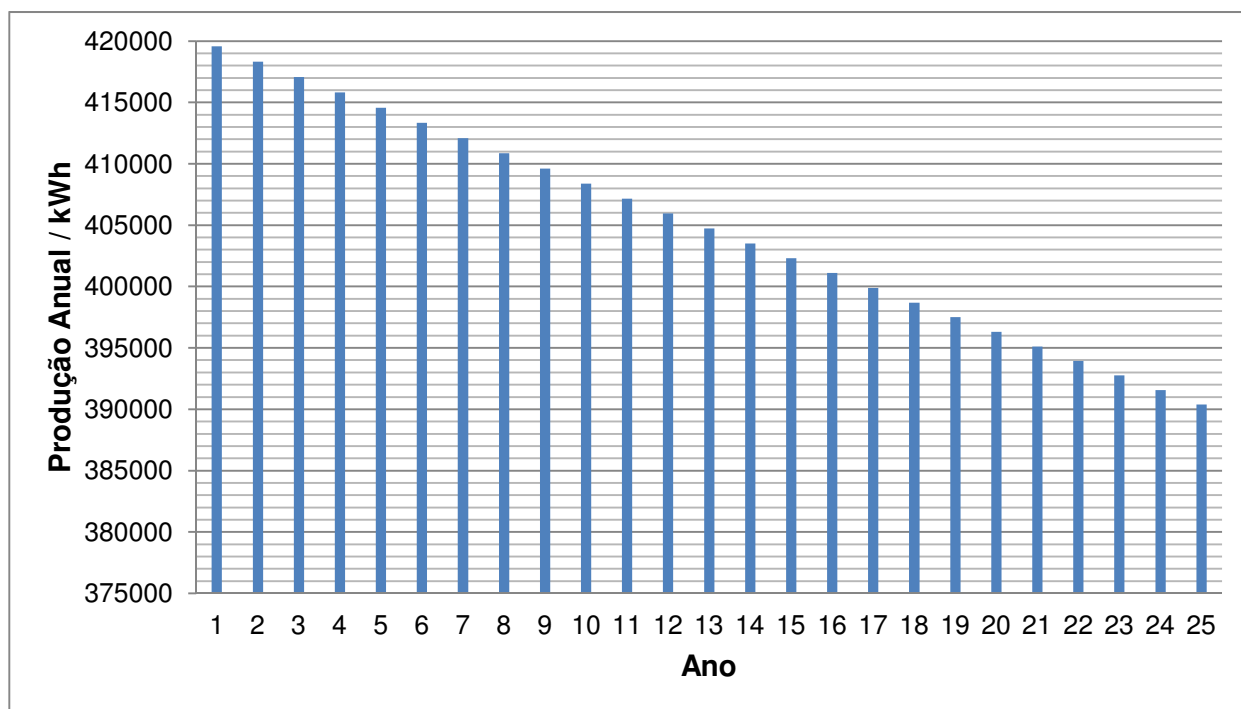


Figura 3.1 – Produção energética anual do sistema de Miniprodução em kWh com perda de eficiência de 0,3% ano

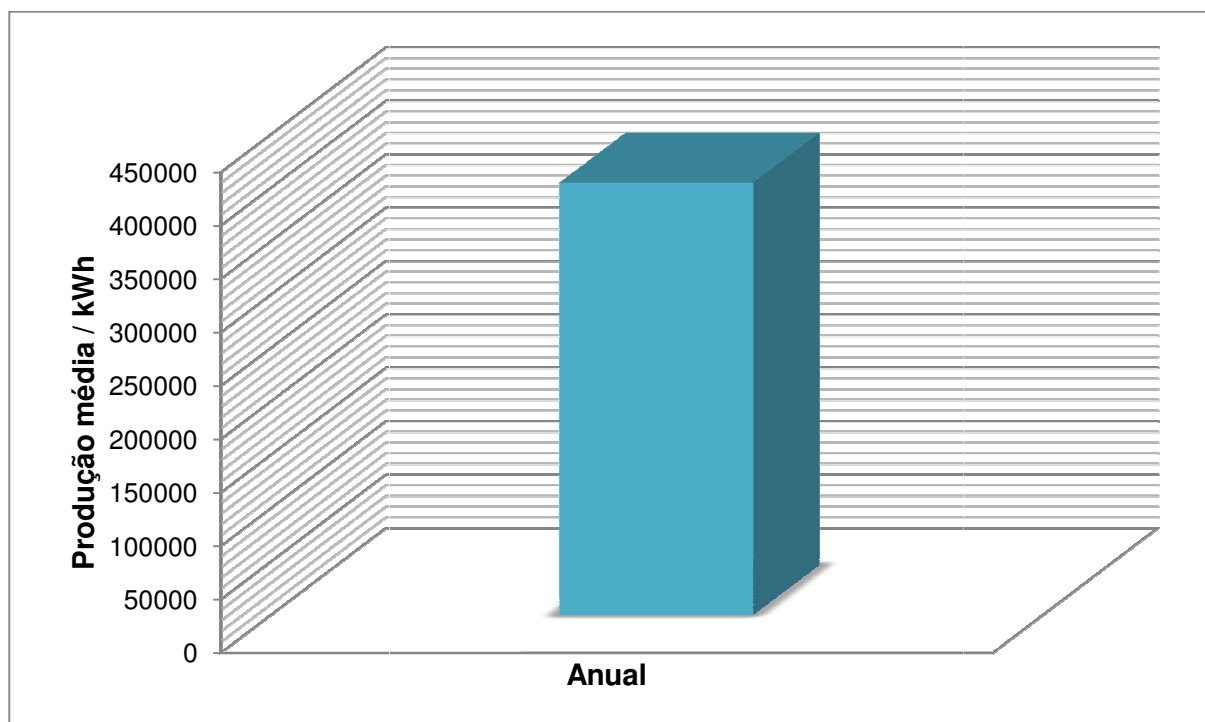


Figura 3.2 – Produção energética anual média em kWh

3.2. Custos na Aquisição de Equipamentos e na Logística Associada à Nova Unidade Fabril

De forma a avaliar economicamente o projeto de instalação do eletrolisador reuniu-se o custo total dos equipamentos que serão necessários adquirir para funcionamento do novo sistema de produção. Na Tabela 3.5 encontra-se descrito o preço de cada equipamento, bem como a respetiva referência, e ainda o custo total da instalação. De referir que relativamente às rampas de enchimento de cilindros, não se conseguiu obter um valor concreto por parte da Cryostar e, por isso, definiu-se o valor de 100.000€ por ser um valor aproximado da referência de mercado.

Tabela 3.5 – Custo de todos os equipamentos que serão necessários adquirir para o funcionamento do novo sistema de produção e respetivo total

Tipo	Valor / €	Fonte
Compressor de Hidrogénio	110.000	Rix Industries
Compressor de Oxigénio	84.538	Rix Industries
Sistema Fotovoltaico	540.690	JG Instalações Elétricas
Sistema de Purificação da Água	2.780	Tecnifiltro
Eletrolisador	578.000	Proton Energy Systems
Rampa de Enchimento de Cilindros de Hidrogénio	100.000	Cryostar
Rampa de Enchimento de Cilindros de Oxigénio Industrial	100.000	Cryostar
Cilindros de Hidrogénio	47.955	DBC Oxigénio
Outros (custos com a instalação, logística, projetos...)	150.000	-----
Total	1.713.963	

Tendo em conta o custo total da instalação, 1.713.963€, definiu-se o valor de 2.000.000€ a solicitar a uma entidade bancária de referência nacional para financiamento do projeto. Na Tabela 3.6 pode visualizar-se as condições propostas pela entidade responsável pelo crédito, observando-se uma mensalidade de 41.350€ a 60 meses.

Tabela 3.6 – Condições de financiamento propostas pela entidade bancária

Capital	2.000.000€
Prazo	60 meses
Tipo Taxa	Fixa
Taxa Fixa Referência	1,400%
Spread	7,000%
Taxa Nominal	8.400%
Taxa Anual Efetiva (TAE)	8.754%
Taxa Anual Efetiva Global (TAEG)	9.398%
Comissão Abertura	1.040€
Imposto de Selo sobre a Utilização de Capital	12.000€
Prestação Mensal Média – 41.350€	

Em seguida definiram-se os custos fixos (ver Tabela 3.7) associados à logística do novo processo de fabrico, notando que a totalidade destes custos efetivos será mantida apenas durante 5 anos, tempo total do crédito bancário.

Tabela 3.7 – Custos associados à logística do novo processo de fabrico

Custos Fixos	Valor / €mês
Eletricidade	9.166
Água	38
Crédito Bancário a 5 Anos	41.350
Aluguer de 4 Viaturas	2.800
Aluguer do Novo Armazém de Produção	5.000
Contratação de 5 Funcionários	4.200
Total	62.554

3.3. Receitas com a Comercialização do H₂ e do O₂ Industrial

De acordo com empresas de referência nacional na comercialização de gases industriais, nomeadamente a Air Liquide, definiu-se um valor de venda para o hidrogénio de 44,49€/kg e para o oxigénio de 1,12€/kg, notando que a venda não será a granel onde se precisa de um depósito instalado no consumidor e de abastecimento por uma cisterna criogénica, mas sim uma distribuição em cilindros pressurizados. Esta forma de venda é relativamente mais cara uma vez que envolve uma logística maior, nomeadamente na produção, enchimento de cilindros e posterior distribuição, contracenando com a de granel que apenas se produz e se distribui em seguida em cisternas. Na Tabela 3.8 encontram-se discriminados as receitas com os novos produtos, observando-se um total mensal de 112.226€.

Tabela 3.8 – Receitas com a venda de hidrogénio e oxigénio industrial

Tipo	€/kg	Kg/h	Total / €mês
Produção de Hidrogénio	44,49	3	96.098
Produção Oxigénio Industrial	1,12	20	16.128
Total	-----	-----	112.226

3.4. Avaliação dos Custos vs Receitas no Estudo da Rentabilidade do Projeto

De forma a avaliar a rentabilidade do projeto definiu-se um prazo de 25 anos uma vez que é a durabilidade prevista para o sistema de Miniprodução. Na Tabela 3.9, a título de resumo, apresentam-se todos os custos fixos/variáveis e receitas com a realização do projeto, observando um total líquido mensal positivo de 55.371€, que corresponde a um total anual líquido de 664.452€ para os primeiros 5 anos.

Tabela 3.9 – Custos vs Receitas em €/mês

Tipo	Custos (€/mês)	Receitas (€/mês)
Produção Oxigénio Industrial	-----	16.128
Produção Hidrogénio	-----	96.098
Electricidade	9.166	5.699
Água	38	-----
Crédito Bancário a 5 Anos	41.350	-----
Aluguer de 4 Viaturas	2.800	-----
Aluguer do Novo Armazém de Produção	5.000	-----
Contratação de 5 Funcionários	4.200	-----
Total	62.554	117.925
Resultado Líquido / €/mês	55.371	
Resultado Líquido / €/ano	664.452	

De acordo com estes dados avaliou-se então a rentabilidade do projeto a 25 anos, tendo em conta o total anual líquido para os primeiros 5 anos e restantes. Na Tabela 3.10 encontra-se discriminado este estudo e observa-se que os encargos iniciais são amortizados no final do 3º ano, resultando um valor acumulado no final dos 25 anos de 24.054.293€. Apresentam-se ainda estes resultados sobre a forma gráfica na Figura 3.3.

Tabela 3.10 – Estudo da rentabilidade a 25 anos

Rentabilidade do Projeto a 25 Anos				
Ano	Custos / €ano	Receitas / €ano	Resultado Líquido / €ano	Amortização
1	750.652	1.415.103	664.452	-1.816.548
2	750.652	1.415.103	664.452	-1.152.097
3	750.652	1.415.103	664.452	-487.645
4	750.652	1.415.103	664.452	176.807
5	750.652	1.415.103	664.452	841.259
6	254.452	1.415.103	1.160.652	2.001.910
7	254.452	1.415.103	1.160.652	3.162.562
8	254.452	1.415.103	1.160.652	4.323.214
9	254.452	1.415.103	1.160.652	5.483.865
10	254.452	1.415.103	1.160.652	6.644.517
11	254.452	1.415.103	1.160.652	7.805.169
12	254.452	1.415.103	1.160.652	8.965.821
13	254.452	1.415.103	1.160.652	10.126.472
14	254.452	1.415.103	1.160.652	11.287.124
15	254.452	1.415.103	1.160.652	12.447.776
16	254.452	1.415.103	1.160.652	13.608.427
17	254.452	1.415.103	1.160.652	14.769.079
18	254.452	1.415.103	1.160.652	15.929.731
19	254.452	1.415.103	1.160.652	17.090.383
20	254.452	1.415.103	1.160.652	18.251.034
21	254.452	1.415.103	1.160.652	19.411.686
22	254.452	1.415.103	1.160.652	20.572.338
23	254.452	1.415.103	1.160.652	21.732.989
24	254.452	1.415.103	1.160.652	22.893.641
25	254.452	1.415.103	1.160.652	24.054.293

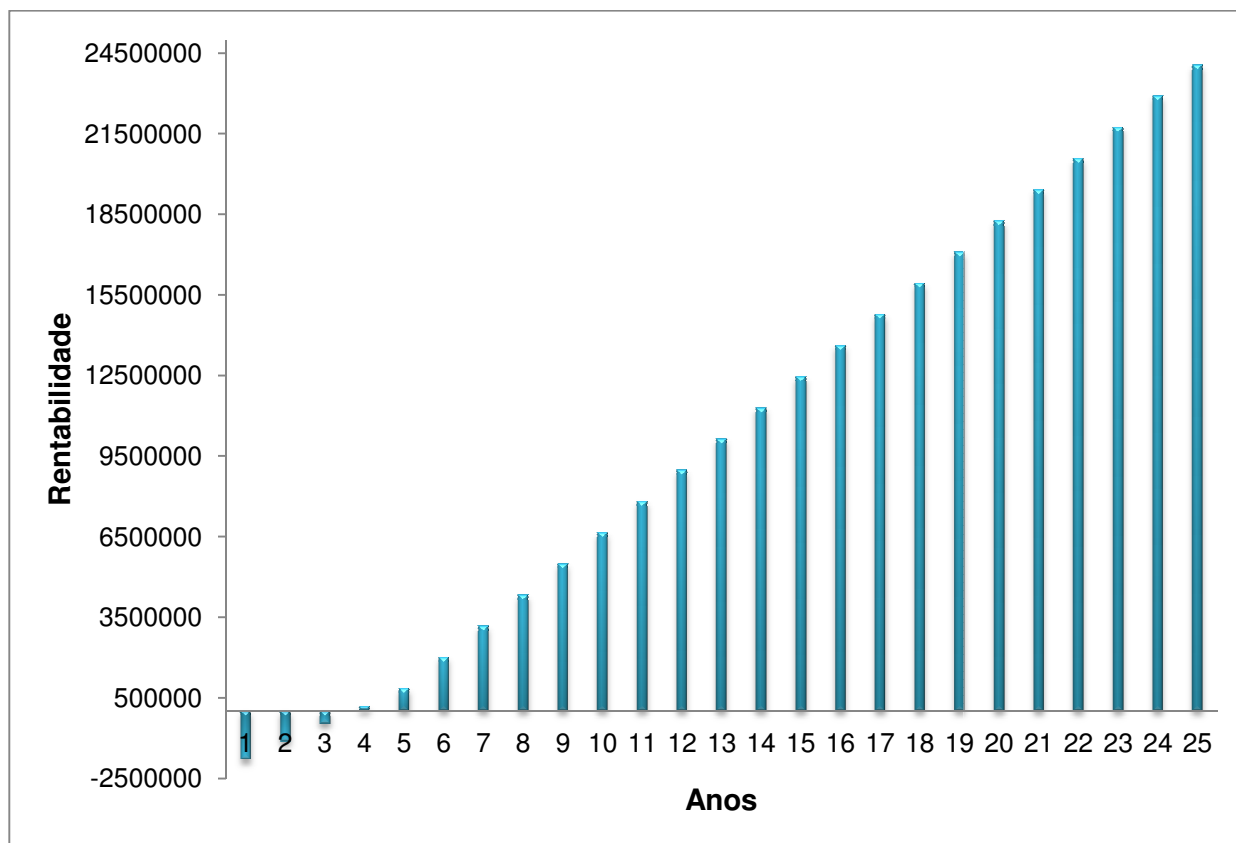


Figura 3.3 – Rentabilidade do projeto a 25 anos

3.5. Avaliação LAY-OUT

A alteração de Lay-out terá que ter em atenção o passado (ver Figuras 3.4 e 3.5) e refletir o futuro (ver Figuras 3.6 e 3.7).



Figura 3.4 – LAY-OUT da instalação atual

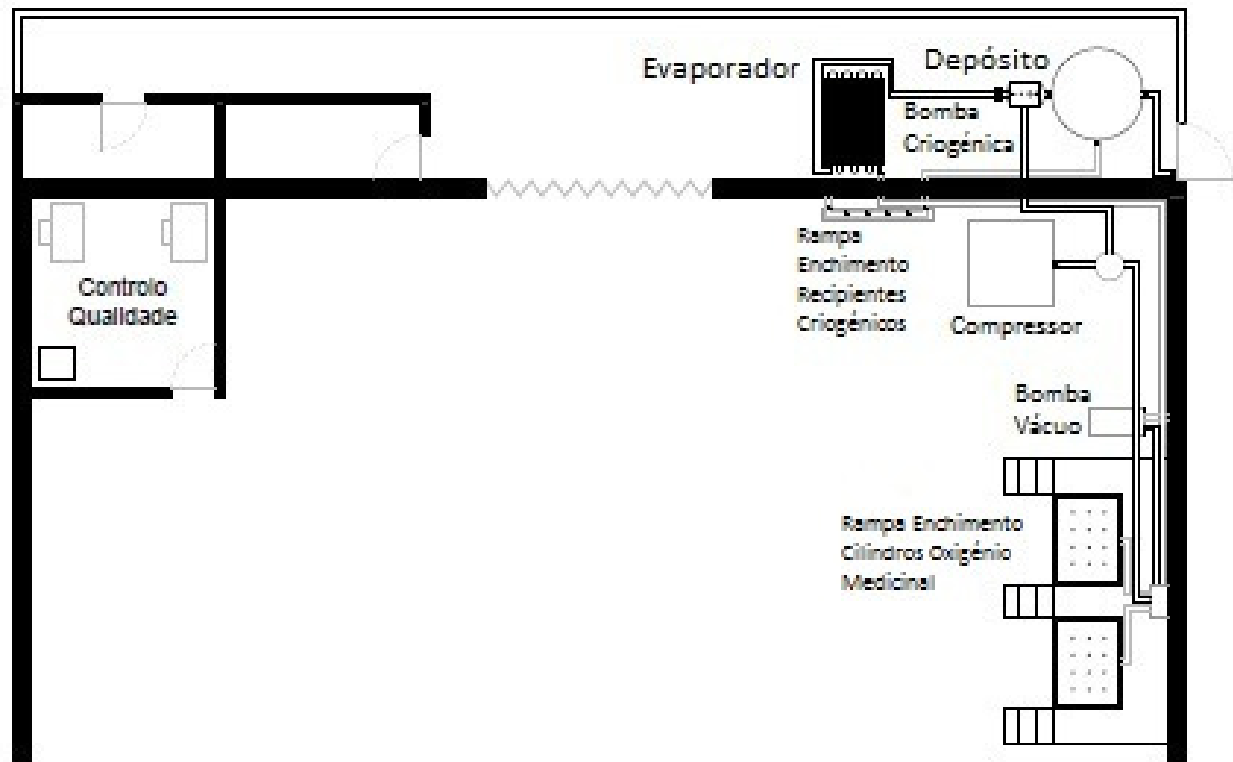


Figura 3.5 – Detalhe da zona de produção atual

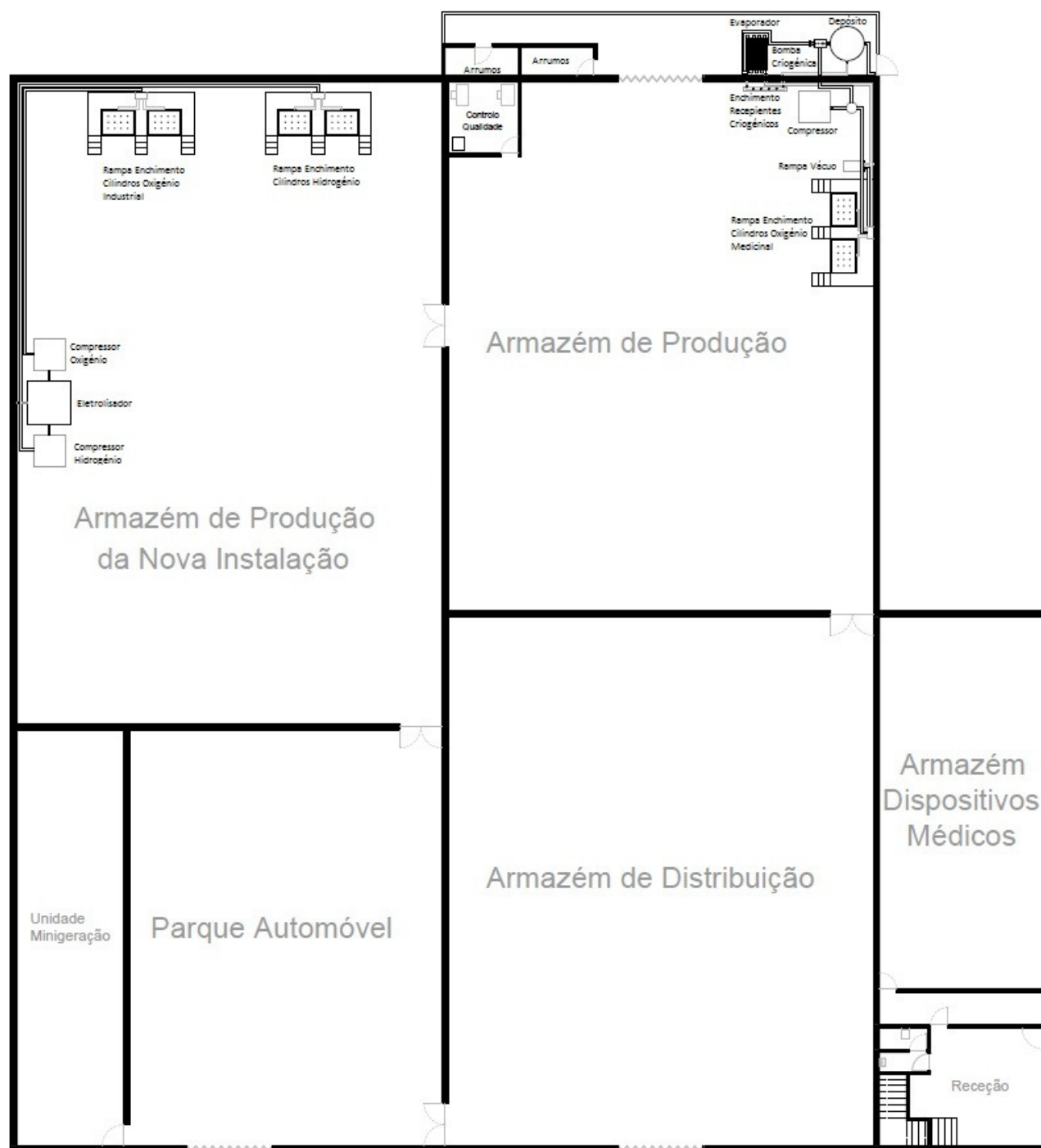


Figura 3.6 – LAY-OUT da instalação projetada

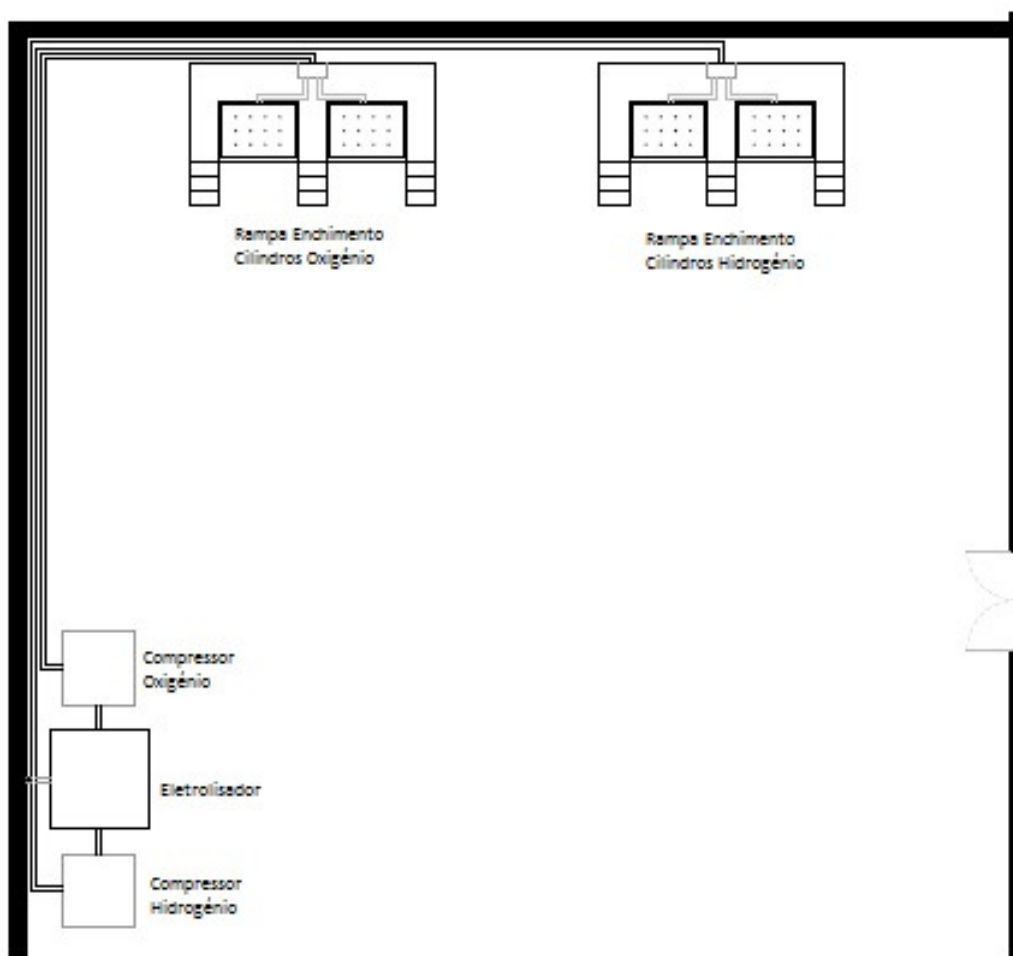


Figura 3.7 – Detalhe da zona de produção projetada

4. CAPÍTULO - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A produção de 3 kg/h (30m³/h) de hidrogénio e 20 kg/h (15m³/h) de oxigénio no eletrolisador e a produção média anual de 404.824 kW de energia no sistema de miniprodução serão suficientes para perfazer os custos fixos e variáveis com a realização do projeto. Quer isto dizer que solicitando os 2.000.000€ para realizar o projeto avaliado em 1.713.963€, definindo um total de 62.554€/mês para custos fixos e prevendo-se um lucro de 117.925€/mês com a venda do hidrogénio, oxigénio e energia, consegue-se um total líquido mensal de 55.371€ para os primeiros 5 anos (duração do crédito bancário), findo o qual o resultado líquido aumentará para 96.721€.

O estudo da rentabilidade do projeto a 25 anos resulta na amortização do investimento inicial no final do 3º ano, e um total de lucro acumulado de 24.054.293€. Será importante referir que os resultados obtidos têm em conta um número otimista na comercialização dos gases hidrogénio e oxigénio, uma vez que são gases muito importantes na indústria em geral, e por outro lado, porque o hidrogénio é considerado um dos combustíveis do futuro e muito importante na diminuição dos impactes ambientais. Conclui-se ainda que para aplicações em microescala, a eletrólise utilizando como fonte de energia um sistema de minigeração, será fiável e economicamente viável.

Sugere-se para trabalho futuro, numa primeira fase, estudar a viabilidade económica na utilização do oxigénio produzido no eletrolisador para fins medicinais diminuindo a dependência da empresa em comprá-lo a granel. Para isso, e tendo em conta que segundo a farmacopeia europeia o oxigénio para uso medicinal tem de ter no mínimo 99.5% de grau de pureza, é necessário adquirir um sistema de filtração que purifique os gases de 98% a 99.5%. Numa segunda fase, sugere-se o desenvolvimento de um projeto em conjunto com a Câmara Municipal da Maia para utilização do hidrogénio como fonte energética na iluminação pública do Setor 8 da Zona Industrial da Maia I. Ou seja, poder-se-ia produzir hidrogénio durante o dia por eletrólise utilizando a energia solar e armazenando-o posteriormente em tanques, para durante a noite utilizar parte dele em células de combustível e produzir energia elétrica de alimentação à iluminação pública.

BIBLIOGRAFIA

1. Barreto L., M.A., Riahi K., *The hydrogen economy in the 21st century: a sustainable development scenario*. Int J Hydrogen Energy, 2003. **28(3)**: p. 267-84.
2. Jianwei Y., G.S., Cunjian K., Tianjun Y., *Oxygen blast furnace and combined cycle (OBF-CC) - an efficient iron-making and power generation process*. Energy, 2003. **28(8)**: p. 825-35.
3. Dunn, S., *Hydrogen Futures: toward a sustainable energy system*. Int J Hydrogen Energy, 2002. **27**: p. 235-64.
4. Takeyoshi Kato, M.K., Noriyuki Kobayashi, Yasuo Suzuoki, *Effective utilization of by-product oxygen from electrolysis hydrogen production*. Energy, 2005. **30**: p. 2580-2595.
5. Paulo Ferrão, A.A. *O Hidrogénio, a gestão de resíduos e a produção eco-eficiente de electricidade: Uma oportunidade para Portugal*. acedido em 28 de Dezembro de 2011]; Available from: <http://www.ipv.pt/millennium/millennium31/15.pdf>.
6. Fernando Miguel Soares Mamede dos Santos, F.A.C.M.d.S. *O Combustível "Hidrogénio"*. acedido em 28 de Dezembro de 2011]; Available from: <http://in3.dem.ist.utl.pt/downloads/press/pub20040412.pdf>
7. Steinfeld, A., *Solar hydrogen production via a two-step water-splitting thermochemical cycle based on Zn/ZnO redox reactions*. Int J Hydrogen Energy, 2002. **27**: p. 611-9.
8. Granovskii M., D.I., Rosen MA, *Environmental and economic aspects of hydrogen production and utilization in fuel cell vehicles*. J Power Sources, 2006. **157**: p. 411-21.
9. Bockris, J., *The origin of ideas on a hydrogen economy and its solution to the decay of the environment*. Int J Hydrogen Energy, 2002. **27**: p. 731-40.
10. Kai Zeng, D.Z., *Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications*. Progress in Energy and Combustion Science, 2010. **36**: p. 307-326.
11. Holmuller P, J.J., Lachal B, Yvon K., *Evaluation of a 5 kW(P) photovoltaic hydrogen production and storage installation for a residential home in Switzerland*. Int J Hydrogen Energy, 2000. **25**: p. 97-109.
12. Oi T, S.Y., *Optimum hydrogen generation capacity and current density of the PEM-type water electrolyzer operated only during the off-peak period of electricity demand*. J Power Sources, 2004. **129**: p. 229-37.
13. PAPAGIANNAKIS, I., *Studying and Improving the Efficiency of Water Electrolysis Using a Proton Exchange Membrane Electrolyser*. 2005.
14. Wikimobi. *Elektrolyse*. acedido em 31 de Outubro de 2012]; Available from: <http://wikimobi.nl/wiki/index.php/Elektrolyse>.
15. Gasin. *Gases Industriais*. acedido em 05 de Outubro de 2012]; Available from: http://www.gasin.com/htm/products/gases_ox.htm.
16. Liquide, A. *Oxigénio Medicinal 100% Air Liquide*. acedido em 05 de Outubro de 2010]; Available from: <http://www.airliquidemedicinal.pt/file/otherelement/pi/o2%20-%20recipientes%20mã³veis%20-%20folheto%20informativo75689.pdf>.
17. Linacre, E., *Climate data and resources*. 1992, Routledge, Londres.
18. Peixoto, J.P., *A radiação solar e o ambiente*, in *o Ambiente e o Homem*. 1981: Comissão Nacional do Ambiente, Lisboa.
19. I.N.M.G., *O Clima de Portugal, Fasc. XI. Vol. 1,2,3,4*. 1988/90, Lisboa.
20. Nascimento, C., *Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica*. 2004, Universidade Federal de Lavras: Lavras, Minas Gerais.
21. E-lee. *A célula fotovoltaica*. acedido em 03-03-2012]; Available from: <http://e-lee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/PanneauxPhotovoltaiques/Cellule/Technologie.htm>.

22. Ministério da Economia, I.e.D. *Decreto-lei n.º 34/2011*. 2011 acedido em 28 de Setembro de 2012]; 1316-1325]. Available from: <http://dre.pt/pdf1sdip/2011/03/04700/0131601325.pdf>.
23. Linde. *Oxigénio Líquido*. acedido em 04 de Junho de 2012]; Available from: [http://www.linde.pt/international/web/lq/pt/like35lqpt.nsf/repositorybyalias/fprod_l201/\\$file/Oxigenio%20Liquido_052011.pdf](http://www.linde.pt/international/web/lq/pt/like35lqpt.nsf/repositorybyalias/fprod_l201/$file/Oxigenio%20Liquido_052011.pdf).
24. Proton. *The Leader In On Site Gas Generation*. acedido em 20 de Setembro de 2012]; Available from: <http://www.protononsite.com/products/power-plants/hogen-c-series-hydrogen-generation-system.html>.
25. Tecnifiltro. *Sistemas de Desmineralização de Água*. acedido em 29 de Setembro de 2012]; Available from: <http://www.tecnifiltro.pt/>.
26. Cryostar. *Filling stations for industrial*. acedido em 04 de Outubro de 2012]; Available from: <http://www.cryostar.com/web/air-gas-filling-stations.php>.
27. Industries, R. *Industrial Compressors*. acedido em 29 de Setembro de 2012]; Available from: <http://www.rixindustries.com/index.html>.
28. ERSE. *Tarifas Transitórias de Venda a Clientes Finais de Energia Elétrica*. acedido em 30 de Setembro de 2012]; Available from: [http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifas2012/Documents/Revisao%20Trimestral%20-%20Junho%202012/Diretiva%205-2012%20\(Tarifas%20Transit%C3%B3rias%20EE%20em%20julho2012\).pdf](http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifas2012/Documents/Revisao%20Trimestral%20-%20Junho%202012/Diretiva%205-2012%20(Tarifas%20Transit%C3%B3rias%20EE%20em%20julho2012).pdf).

ANEXOS

A. CARACTERÍSTICAS DO OXIGÉNIO

→ Folha de Produto



Oxigénio Líquido

Designação: Oxigénio (O₂)

Pureza, % Vol: ≥ 99,5

Formas de Fornecimento: Cisternas criogénicas com produto no estado líquido a baixa temperatura.
Tanques criogénicos estacionários com o respectivo equipamento, em diversas capacidades, de acordo com o consumo estimado.
Tanques criogénicos móveis - liquitrans®.

Classificação de Transporte/ADR: Classe 2, 3º O N° ONU 1073

Factores de conversão:	m³ gás (1 bar e 15°C)	Litros de gás liquefeito (em equilíbrio a 1,013 bar)	kg
	1	1,172	1,337
	0,835	1	1,141
	0,748	0,876	1

Características: O Oxigénio é um gás incolor e inodoro, formando parte do Ar atmosférico em aprox. 20,95% vol. O Oxigénio não é tóxico. Sendo intensamente oxidante, deve evitar-se todo e qualquer contacto com substâncias inflamáveis, já que pode provocar a sua combustão. Tudo o que possa entrar em contacto com o Oxigénio deve estar isento de óleos, gorduras e lubrificantes.

Símbolo químico:	O ₂
Massa molar:	32,00 g/mol
Ponto triplo:	Temperatura: 54,4 K (-218,8°C) Pressão: 1,5 mbar Calor latente de fusão: 13,9 kJ/kg
Ponto de ebulição a 1013 mbar:	Temperatura: 90,2 K (-183°C) Calor latente de ebulição: 213 kJ/kg
Ponto crítico:	Temperatura: 154,6 K (-118,6°C) Pressão: 50,4 bar Densidade: 0,436 kg/litro
Estado gasoso a 1 bar e 15°C:	Densidade relativa ao ar: 1,105

Figura A.1 - Características do oxigénio^[23]

B. DADOS FORNECIDOS PELA EMPRESA GASOXMED – GASES MEDICINAIS S.A.

Por questões de sigilo profissional, todos os dados fornecidos pela empresa Gasoxmed são valores referência de mercado para uma empresa com características idênticas à mesma. Foram gentilmente cedidos e devidamente pensados para que se pudesse efetuar um estudo o mais real possível.

Tabela B.1 - Dados fornecidos pela empresa Gasoxmed – Gases Medicinais S.A.

Tipo	Valor
Oxigénio líquido gasto diariamente / litros	2000
Recipientes criogénicos cheios / dia	12
Capacidade dos recipientes criogénicos / litros	45
Área total do armazém atual / m²	1200
Área total do armazém a alugar / m²	1000
Potência instalada / kVA	41,4
Consumo médio em horas de vazio / kWmês	1000
Consumo médio em horas de Ponta / kWmês	1300
Consumo médio em horas Cheias / kWmês	2500

C. CARACTERÍSTICAS DO ELETROLISADOR DE ÁGUA

Technical Specifications

HOGEN® C Series

Hydrogen Generation Systems



Model	C10	C20	C30
DESCRIPTION			
	On-site hydrogen generator in two integrated, automated, site-ready enclosures. Load Following operation automatically adjusts output to match demand. Automated Tank Filling operating with power-conservation mode during standby.		
ELECTROLYTE			
	Proton Exchange Membrane (PEM) - caustic-free		
HYDROGEN PRODUCTION			
Net Production Rate: Nm ³ /hr @ 0° C, 1 bar SCF/hr @ 70° F, 1 atm SLPM @ 70° F, 1 atm kg per 24 hours	10 Nm ³ /hr 382 SCF/hr 178 SLPM/hr 21.6 kg/24hr	20 Nm ³ /hr 764 SCF/hr 356 SLPM 43.3 kg/24hr	30 Nm ³ /hr 1146 SCF/hr 535 SLPM 65 kg/24hr
Delivery Pressure - Nominal	30 barg (435 PSIG)		
Power Consumed per Volume of Mass H ₂ Gas Produced**	6.2 kWh/Nm ³ 16.2 kWh/100 ft ³ 68.5 kWh/kg	6.0 kWh/Nm ³ 15.7 kWh/100 ft ³ 66.6 kWh/kg	5.8 kWh/Nm ³ 15.3 kWh/100 ft ³ 64.8 kWh/kg
Purity (Concentration of Impurities)**	99.9998% (Water Vapor < 2 PPM, -72°C (-98°F) Dewpoint, N ₂ < 2 ppm O ₂ < 1 ppm, All others undetectable)		
Turndown Range	0 to 100% Net Product Delivery (Automatic)		
Upgradeability	Field Upgradeable to a maximum of 30 Nm ³ / hr (1140 SCF / hr)		N/A
DI WATER REQUIREMENT			
Rate at Max. Consumption Rate	9 L/hr (2.4 gal/hr)	17.9 L/hr (4.7 gal/hr)	26.9 L/hr (7.1 gal/hr)
Temperature	+5°C to 50°C (41°F to 122°F)		
Pressure	1.4 to 4.1 barg (20 to 60 PSIG)		
Input Water Quality	ASTM Type II Deionized Water required, < 1 micro Siemen / cm (>1 megOhm-cm) ASTM Type I Deionized Water recommended, <0.1 micro Siemen / cm (> 10 megOhm-cm)		
HEAT LOAD AND COOLANT REQUIREMENT			
Electrolyzer	Cooling	Liquid Cooled; Non-fouling; +5°C to 50°C (41°F to 122°F); 1.4 to 6.9 barg (30 to 100 PSIG)	
	Coolant	Flowrate: up to 133 L/min (35 gal/min) Pressure Drop: ~1.7 barg (~25 psig)	
	Max. Heat Load (Cooling Requirement)	28.7 kW / 97,929 BTU/hr (8.2 tons refrig)	58.4 kW / 199,269 BTU/hr (16.6 tons refrig)
Hydrogen Dryer & Power Supply	Cooling	Liquid Cooled; Non-fouling; +5°C to 40°C (41°F to 104°F); 1.4 to 6.9 barg (20 to 100 PSIG)	
	Coolant	Flowrate: up to 76 L/min (20 gal/min) Pressure Drop: ~1.0 barg (~15 psig)	
	Max. Heat Load (Cooling Requirement)	4.8 kW / 16,379 BTU/hr (1.4 tons refrig)	8.4 kW / 28,662 BTU/hr (2.4 tons refrig)

** Subject to ambient and coolant temperatures. Consult Proton Applications Engineering Department for your specific application.

Figura C.1 – Características do eletrolisador de água (modelo escolhido – C30)^[24]

Model	C10	C20	C30
ELECTRICAL SPECIFICATIONS			
Recommended Breaker Rating	100 kVA	200 kVA	250 kVA
Electrical Specification	342 to 456 VAC, 3 phase, 50 Hz 432 to 528 VAC, 3 phase, 60 Hz		
INTERFACE CONNECTIONS *Consult Installation Manual for details*			
H ₂ Product Port	3/8" Parker CPI™ compression tube fitting, SS		
H ₂ / H ₂ O Vent Port	1" FNPT, SS		
DI Water Port	3/8" FNPT, SS		
Coolant Supply and Return Ports	Electrolyzer Enclosure: 1-1/2" FNPT, brass (Cell Stack); 1/2" FNPT, brass (Hydrogen Dryer) Power Supply Enclosure 3/4" FNPT, brass (Power Supply Cooling)		
Drain Port	1/2" FNPT, brass		
O ₂ Vent Port	1" FNPT, brass		
Electrical	Connect to inlet of disconnect box		
Communications	Ethernet		
CONTROL SYSTEMS			
Standard Features	- Fully automated - E-stop - Automatic fault detection and system depressurization - Push button start/stop - On-board H ₂ leak detection		
Remote Alarm	Form C relay, 5A, 250V, 150W Max. rated switching		
Remote Shutdown	Safety circuit trip		
ENCLOSURE CHARACTERISTICS			
Dimensions, W x D x H (Product)	Electrolyzer Enclosure: 2388 mm x 914 mm x 2007 (94" x 36" x 79") Power Supply Enclosure: 1880 mm x 914 mm x 2007 mm (74" x 36" x 79")		
Weight (Product)	2041 kg (4500 lbs)	2449 kg (5400 lbs)	2812 kg (6200 lbs)
Rating	IP66 for power supply compartment. IP56 for electrolyzer compartment		
ENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS *Do Not Freeze*			
Standard Siting Location	Indoor; level ±1°, 0 to 100% RH non-condensing; Non-hazardous/non-classified environment		
Storage/Transport Temperature	+5°C to 60°C (41°F to 140°F)		
Ambient Temperature Range	+5°C to 40°C (41°F to 104°F)		
Altitude Range - Sea Level to:	2000 m (6562 ft)		
Ventilation	Proper ventilation must be provided from a non-hazardous area at a rate in accordance with IEC60079-10, Zone 2 NE		
SAFETY AND REGULATORY CONFORMITY			
Maximum On-board H ₂ Inventory at Full Production	0.08 Nm ³ @ 30 barg 2.9 SCF @ 30 barg 0.0069 kg @ 30 barg		
Cabinet Ventilation with Environment	Vent fan draws fresh air up to 8.5 m ³ /min (300 ft ³ /min)		
Noise dB(A) at 1 Meter	< 75		
Approvals (Pending)	CE (ISO 22734-1, PED, ATEX, LVD, Mach, Dir., EMC); cTUVus (CSA, UL equivalent)		
OPTIONS			
- On board DI water system - Metric Connection Conversion - Dewpoint Monitoring - Dedicated Datalogging Computer	- Remote Datalogging - Outdoor Operation Package (-10 to 40°C) - Field Certification	- Factory Matched Cooler/Chiller - High Ambient Temp. Package (+5 to 50°C)	- Product Oxygen @ 1.5 barg (98% purity overall; 99.5% excluding water) - Programmable time of day

Figura C.2 - Características do eletrolisador de água (modelo escolhido – C30)^[24], continuação

D. CARACTERÍSTICAS DO DESMINERALIZADOR DE ÁGUA

As características do desmineralizador por permuta iónica são:

- Pré-filtro de carvão Block 5 micron
- Módulo de Resinas (Mixed BEd)
- Débito até 40 l/h
- Entrada e saída: $\frac{3}{4}$ "



Figura D.1 – Filtro desmineralizador de água^[25]

As características da unidade compacta de desmineralização por osmose inversa com medidor de TDS são:

- Produção máxima de 285 lt/dia
- Pressão da rede inferior a 3 kg

A unidade é constituída por:

- 1 filtro com cartucho sedimentos
- 2 filtros com cartucho duplo de carvão ativado
- 1 membrana de osmose inversa
- 1 bomba booster

- 1 reservatório 12 lts
- 1 medidor digital TDS
- 1 alarme sonoro programável



Figura D.2 – Unidade compacta de desmineralização por osmose inversa com medidor de TDS^[25].

E. CARACTERÍSTICAS DA RAMPA DE ENCHIMENTO DOS CILINDROS




TECHNICAL INDEX

Automation

DISTRIBUTION
CRYOSTAR

Single Gas Filling System ★



★ **Presentation**

Cryostar single gas filling systems have been developed for filling gas cylinders up to a pressure of 300 bar at 15° C. In order to gain the best output from the installation, this system is fed by one single source of gas, filling automatically up to 6 posts simultaneously or completing other operations on other posts at the same time. (Hidden time).

★ **Quality**

Each Cryostar system is thoroughly tested in our workshops, including:

- Pressure tests
- Electric, pneumatic and PLC tests
- Operational tests

Every Cryostar system is developed in compliance with the norms CE (PED, ATEX...)

★ **Characteristics**

Filling pressure	Up to 300 bar at 15° C
Gases	N ₂ , Ar, O ₂ , He, CO ₂ , H ₂ , etc...
Operations	Vent, Purge, Vacuum, Filling, analyse , top filling
Inlet lines	1 Monogas or premixed gas
Outlet lines	Up to 6 automatic outlets
Power supply	220 V, 50Hz
Automatic system management	Siemens PLC
Operator interface	Siemens Touch screen
Vacuum pump	40 to 200 m3/h

Figura E.1 – Características da rampa de enchimento de cilindros^[26]



★ Features

1 - This system of filling in 'hidden time' developed for maximum output, allows the operations of purge, vacuum and vent on selected posts, all whilst continuing to fill cylinders on the other posts. This obviously represents an important contribution to the overall level of system productivity.

2 - Gas filling is controlled by simultaneous measurement of both pressure and temperature, ensuring that filling is completed at the pressure required.



3 - The automatic control panel allows a visual presentation of the overall state of the system, any defects and all filling cycles. With a secure access code, it is possible to use the touch screen to resolve any defects and access the modes for maintenance, filling parameters and manual drive. Managed by a Siemens PLC, these systems can either be totally autonomous or connected to a supervisory control desk.

4 - Maintenance is facilitated by tracking of the number of cycles and reporting on defect history. There is equally the possibility of remote maintenance with the installed software. All of this is provided with the aim of limiting the risk of prolonged stoppage of the installation.

5 - An archive mode stores information on all completed fillings along with their parameters into the memory bank of the system, ensuring traceability in case of defect in one particular load.

6 - The operator interface program allows navigation between different modes through a simple touch of the icon on screen. A quick and efficient understanding of the menus can be gained this way, erasing the need for specific training courses to adapt to the system.

7 - The vacuum module which can either be external or integrated into the chassis allows vacuum operations on the full system as well as the bottles. The

module is controlled directly from the system's automatic control panel.

★ Options

- Analysis outflow : For connection to an analyser
- Supervision: For the reporting and archiving of data
- Single filling output (No hidden time)
- Pressure gauges at the gas inlet
- Different pressure level filling option
- Remote vacuum pump
- Interface with E.R.P system

For more details please contact your local Cryostar representative



CRYOSTAR Automation	tel : +33 (0) 5 65 80 20 20	info@cryostar.com
CRYOSTAR Brazil	tel : +55 11 3709 5697	brasil@cryostar.com
CRYOSTAR China	tel : +86 571 8536 8331	china@cryostar.com
CRYOSTAR France	tel : +33 (0) 3 89 70 27 27	info@cryostar.com
CRYOSTAR Singapore	tel : +65 6276 7441	singapore@cryostar.com
CRYOSTAR UK	tel : +44 1709 702 777	uk@cryostar.com
CRYOSTAR USA East	tel : 1-800-483-1052	usa@cryostar.com
CRYOSTAR USA West	tel : +1 (562) 903-1290	usa@cryostar.com
CRYOSTAR USA - Houston Office	tel : +1 (713) 661-6000	usa.houston@cryostar.com



www.cryostar.com

Figura E.2 – Características da rampa de enchimento de cilindros, continuação^[26]

F. CARACTERÍSTICAS DO COMPRESSOR DE HIDROGÉNIO

**RIX INDUSTRIES
2V COMPRESSOR
INCLUDES:**

- One to Three Stages of Oil-Free Compression
- Air or Water Cooling
- Crosshead Construction
- Continuous Duty
- Smooth and Quiet Operation
- Compact, Light Weight, Easy to Maintain Design

RIX 2V

INDUSTRIAL GAS/AIR COMPRESSOR

OIL-FREE GAS OR AIR COMPRESSION TO 6,000 PSIG

RIX 2V compressors feature stout crosshead construction with totally oil-free compression. Gases commonly compressed include Oxygen, Hydrogen, Argon, Helium, Nitrogen, Air, Natural Gas, CO₂, Hydrocarbon mixes and various other rare gases.

FEATURES
Cylinders are single-acting and air-cooled; water-cooled cylinders optional. Water-cooled heat exchangers are also available.

Gapless piston rings provide for maximum sealing and long life. Various Teflon based materials are available for differing applications.

Optional piston rod seals provide capture of hazardous and rare gases.

CONSTRUCTION
Crankcase: Single throw crankshaft with roller main bearings, sleeve-type rod bearings and needle piston pin bearings. The crankcase is splash lubricated.

Cylinders: Air-cooled cylinders consist of finned aluminum castings with pressed-in hardened stainless steel liners. 100% stainless steel air-cooled cylinders are available in various grades (316, 17-4, 416 etc). Water-cooled cylinders are also available.

Heads and Valves: Heads are stainless steel or aluminum. Special materials are available. Valves in air-cooled cylinders are stainless steel reed type.

Piston Rings: Piston and rider rings are made from self-lubricating Teflon based materials. High pressure stages use RIX patented spiral rings with a close fitting floating piston for tight sealing and long life. In some high pressure applications, ceramic pistons with teflon seals are used.



*RIX 2V2
Two Stage, Oil-Free
Industrial Compressor*

SPECIFICATIONS

Horsepower Range:
1 to 10 BHP

Pressure Range:
to 6000 PSIG (415 Bar)

Cylinders:
1 to 3 Stages, Oil-Free
Diameters to 4 5/8"

Stroke:
3 inches (7.6 cm)

Speed:
350 – 750 RPM

Typical Gases:
Oxygen, Nitrogen,
Hydrogen, Argon, Helium,
Natural Gas, Dry Air

PACKAGING
Units are available partially or fully packaged per RIX standards or to customer specifications. Dual unit skids available.



INDUSTRIES

RIX INDUSTRIES
4900 Industrial Way
Benicia, CA 94510 USA
707-747-5900 Phone
707-747-9200 Fax
www.rixindustries.com
ISO 9001 CERTIFIED

Figura F.1 – Características do compressor de hidrogénio^[27]

RIX 2V SERIES

CAPABILITIES

Inlet Pressure	Ambient Inlet			50 psig Inlet			100 psig Inlet			500 psig Inlet		
Performance *	MAX. PRESSURE (PSIG)	MAX. FLOW (SCFM)	Motor HP	MAX. PRESSURE (PSIG)	MAX. FLOW (SCFM)	Motor HP	MAX. PRESSURE (PSIG)	MAX. FLOW (SCFM)	Motor HP	MAX. PRESSURE (PSIG)	MAX. FLOW (SCFM)	Motor HP
3-stage	750	4	5	3000	15	10	3000	15	10	6000	10	10
2-stage	150	11	7.5	700	20	10	1400	20	10	3500	20	10
1-stage	50	20	7.5	200	50	10	450	50	10	1000	50	10

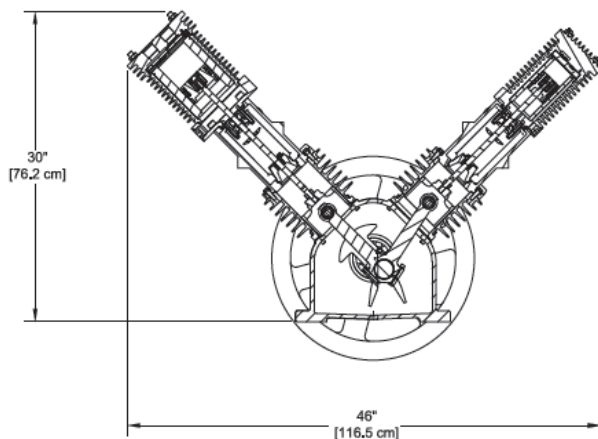
* Performance data based on Nitrogen

STANDARD ACCESSORIES

- Steel Skid
- Electric Motor & V-belt drive
- Intercooler/Aftercooler
- Electric Cooling Fan, $\frac{1}{10}$ HP
- Nema 4 Control Box
- Safety Switches
- Pressure Gauges
- Relief Valves
- Corrosion Resistant Piping
- OSHA Beltguard

TYPICAL PACKAGE OPTIONS

- PLC Control
- TEFC or XP Motor
- Nema 7 Electrics
- Water-Cooled Inter/After Coolers
- Pulsation Bottles
- Bypass Valve
- 316 Stainless Steel Piping
- Moisture Separators



Bare Unit Weight: ~300 lbs. (with flywheel) 136 kg
Typical Package Dimensions: 22"W x 50"L x 46"H; Weight 720 - 1,000 Lbs.

A LONG RECORD OF SUCCESS

Since 1878, RIX Industries has been engineering and manufacturing compressors for military, industrial and commercial applications. Over that long period of time, we've developed a world-wide reputation for producing a line of extraordinary, high quality products. Today, RIX compressors are providing reliable long-term service in such diverse installations as air separation plants, submarines, aircraft, steel mills and refineries.

AVAILABLE FROM:



4900 Industrial Way
Benicia, CA 94510 USA
707-747-5900 Phone
707-747-9200 Fax
www.rixindustries.com

ISO 9001 CERTIFIED

GT-2V 04/10

Figura F.2 – Características do compressor de hidrogénio, continuação^[27]

G. CARACTERISTICAS DO COMPRESSOR DE OXIGÉNIO



4V4 OXYGEN COMPRESSOR PRICING

May 2012

Model: 4V4BG-11A-P03, Water Cooled \$109,900.00

Performance: 10-19.2 SCFM (600-1150 SCFH), 10 PSIG suction, 3000 PSIG discharge

7-13.3 SCFM (430-800 SCFH), 3 PSIG suction, 3000 PSIG discharge

Option Model: 4V4B-6.1-P1, Air Cooled \$86,900.00

Performance: 20 SCFM (1200 SCFH), 45 PSIG suction, 3000 PSIG discharge, 600 RPM

Notes: Supplied gas must be dry to a minus 40°F dewpoint @ 10 psig

Inlet pressure regulation by customer as required.

Figures based on sea level operation and 100 deg. F (38°C) suction temperature

The 4V4 is a four stage, four cylinder, oil-free, V style reciprocating compressor, with water-cooled cylinders and heat exchangers. The crankcase is separated from the compression area and is lubricated with oxygen compatible halocarbon oil. A fully self contained radiator cooling system is installed on the skid. The unit is suitable for continuous (24 hour) operation.

The optional model 4V4AC-11A-P03 has the same flow and discharge pressure as the standard model 4V4BG-11A-P03 but is designed with air-cooled cylinders and heat exchanger. The crankcase is separated from the compression area and is lubricated with a standard automotive grade lubricant. Please note an inlet pressure of **40-50 psig** is required (2.8 - 3.4 barg).

The packaging includes a 15 HP motor, V-belt drive and motor starter with Siemens Logo controller, hourmeter and fault lights. Standard control is manual start. Safety shutdowns are provided for high discharge pressure, low and high suction pressure and high 4th stage gas discharge temperature. Relief valves and panel mounted pressure gauges are included on the compressor suction and each stage. Operation indoors or in a weather protected location is required. Inlet connection is 3/4" NPT (female). Discharge connection is 1/4" (female).

Water-cooled unit: Compressor speed will be 440-840 RPM depending on required flow.

Note: suction not to exceed 24.7 PSIA (1.7 barA) – to be regulated by buyer as required.

Standard motor voltages are as follows: 208-230/3/60, 460/3/60, 380-415/3/50

Dimensions: 50"W x 61"L x 41"H, Weight: 1,650 lbs.

Shipping Volume: 65"W x 76"L x 52"H (packaged for shipment), Weight: 1,850 lbs.

Lead time: 18-22 weeks from receipt of order.

Pricing is in US Dollars, FOB RIX assembly plant in Sparks, Nevada, USA.

RIX reserves the right to change pricing, specifications or dimensions without prior notice.

RIX Industries

4900 Industrial Way, Benicia, CA 94510 U.S.A.
(707) 747-5900 (fax -9200) www.rixindustries.com

Figura G.1 - Características do compressor de oxigénio^[27]

O₂

RIX INDUSTRIES' 4V4BG FEATURES:

- *Oil-Free Design*
- *Proven Safety Features*
- *Low RPM for Long Service Life*
- *Continuous, Around-The-Clock Operation*

RIX 4V4BG

HIGH PRESSURE
OXYGEN COMPRESSOR

for cylinder filling

Discharge Pressure to 3000 PSIG (207 BarG)

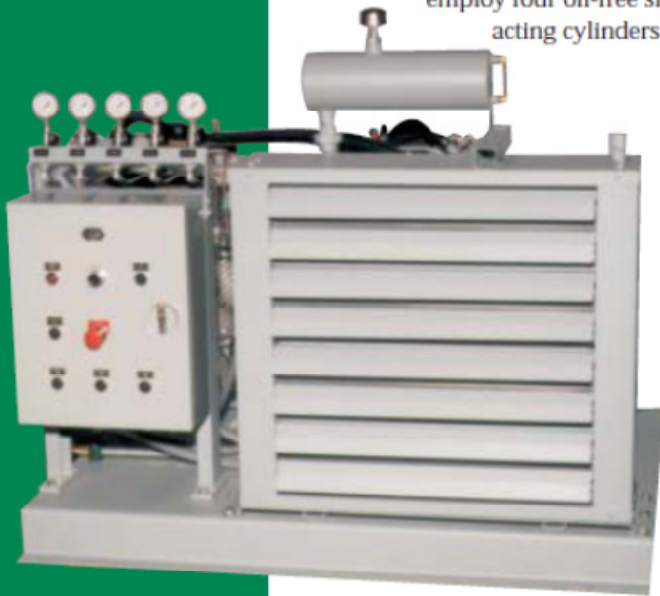
Flow Rate; 10 to 17 SCFM
(600 to 1000 SCFH; 16 to 27 Nm³/H)

RIX Oxygen Compressors have been developed specifically for the exacting requirements of safe, reliable oxygen compression service. The 4V4BG Series incorporates design features developed over several decades for a variety of industrial and military oxygen compressor applications. These compressors are well suited for the compression of oxygen to 3000 psig, and other clean, dry gases to 5000 psig. The 4V4BG high pressure oxygen compressor will fill up to one hundred (100) 240 cu. ft. 2500 psi oxygen cylinders in a 24 hour period.


4V4BG four-stage compressors employ four oil-free single-acting cylinders

on a "V" type crosshead design crankcase. Heat exchangers, crankcase and compression cylinders are fresh water cooled. The crankcase is pressure/splash-lubricated with oxygen compatible oil. The 3rd and 4th stage pistons are free-floating. This allows piston and ring change-out without cylinder or piston rod removal. All heads are air cooled and can be removed without disconnecting the cooling water piping. Replacement of a floating piston assembly typically requires only about 30 minutes.

The proven ring life of the 4th stage, compressing oxygen at 2500 psig, is more than 3000 hours. Service life of the other stages is considerably longer.



The RIX 4V4BG high pressure oxygen compressor will fill up to one hundred (100) 240 cu. ft. 2500 psi oxygen cylinders in a 24 hour period.

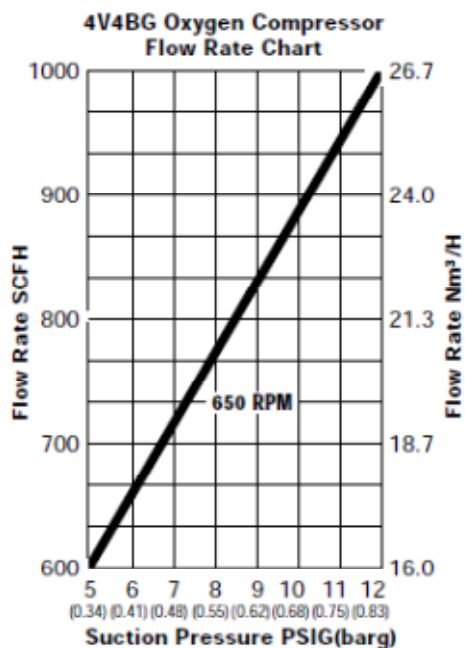
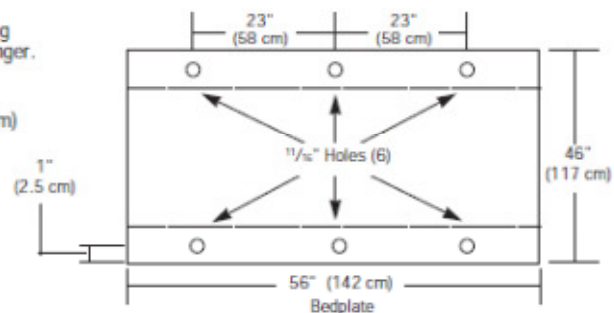
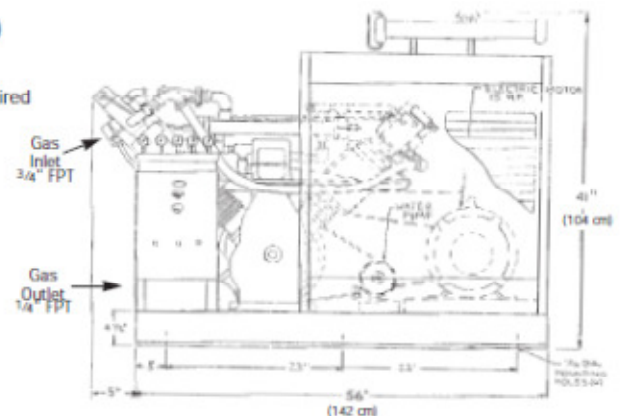


RIX INDUSTRIES
6460 Hollis Street
Oakland, CA 94608 USA
Phone (510) 658-5275
Fax (510) 428-9102

Figura G.2 - Características do compressor de oxigénio, continuação^[27]

RIX 4V4BG Oxygen Compressor

Size, Compressor Pkg.	36"H x 56"L x 31"W (91Cm x 142Cm x 78Cm)
Weight, Compressor Pkg.	800 lbs. (363 Kg)
Power, motor size	15 HP (11 Kw) 190 to 460 volts as required 50 or 60 Hz as required three phase
Compressor RPM	650 RPM
Suction Pressure	5 - 12 PSIG 0.34 - 0.83 BarG 0.35 - 0.84 Kg/cm ² G
Max. Discharge pressure, O ₂	3000 PSIG 207 BarG 211 Kg/cm ² G
Flow Rate	600 - 1000 SCFH 16 - 27 Nm ³ /H 268 - 446 Nltr/M
Cooling	Closed circuit water cooling with air/water heat exchanger.
Shipping weight	1100 lbs. (500 Kg)
Shipping volume	54"H x 73"L x 60"W (137Cm x 185Cm x 152Cm)
Gas inlet	3/4" FPT
Gas outlet	1/4" FPT



STANDARD COMPONENTS

Compressor Package:

- 4V4BG Compressor
- Bedplate
- Drive Belt, Belt Guard
- Motor (15 HP; 50/60 cycle; 3 phase)
- Motor Starter, Start/Stop Buttons
- Hour Meter
- Pressure Gauges
- High Temperature Shutdown
- High Pressure Shutdown
- Low Pressure Shutdown
- Pressure Gauges
- Radiator
- Electric Fan and Starter
- Water Pump
- Oxygen Clean



Figura G.3 – Características do compressor de oxigénio, continuação^[27]

H. CARACTERÍSTICAS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO SUNTECH DE 230 W

STP235 - 20/Wd
STP230 - 20/Wd
STP225 - 20/Wd

SUNTECH

235 watts
MÓDULO SOLAR POLICRISTALINO



Características



Módulo de alta eficiência de conversão
Até 14,4%, através de tecnologia de células superior e capacidade de produção líder



Limpeza automática e anti-reflexo
A camada hidrofóbica e anti-reflexo melhora a absorção de luz e reduz o pó na superfície



Tolerância positiva
Tolerância positiva garantida de 0/+5% garante uma produção de energia fiável



Excelente desempenho com luz fraca
Desempenho excelente em ambientes com pouca luminosidade



Testes alargados de vento e nevões
Módulo certificado na íntegra para suportar ventos muito fortes (3800 Pascal) e nevões (5400 Pascal) *



Processo de classificação de corrente da Suntech
Todos os módulos da Suntech são classificados e embalados por amperagem, maximizando a produção do sistema através da redução de perdas devido a efeitos de "mismatch" até 2%

Certificações e normas: UL 1703, IEC 61215, IEC 61730, conformidade com a CE








Confie na Suntech para proporcionar um desempenho fiável ao longo do tempo

- O fabricante n.º 1 do mundo de módulos fotovoltaicos cristalinos em silício
- Capacidade de fabrico e tecnologia de classe mundial sem rival
- Controlo de qualidade rigoroso que satisfaz as mais elevadas normas internacionais: ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004 e ISO 17025: 2005
- Testado para ambientes adversos (testes de corrosão anti-humidade salina e anti-amoníaco: IEC 61701, IEC 62716)***

Design de estrutura novo e melhorado

A nova e fiável estrutura rígida da câmara oca Suntech proporciona quatro opções de ligação à terra para maior flexibilidade de design e para uma instalação mais fácil. A marca anti-contrafacção garante que está a adquirir produtos Suntech genuínos.

Garantia líder do sector com base em Pnom



SUNTECH + 6,7%

- Com base na potência nominal (Pnom)
- Garantia transmissível de 25 anos a nível de produção de energia: 5 anos/95%, 12 anos/90%, 18 anos/85%, 25 anos/80% ****
- Garante 6,7% mais de energia do que o padrão de mercado durante mais de 25 anos
- Garantia de 10 anos a nível de material e mão-de-obra

Caixa de derivação com classificação IP67 (mais recente modelo)

Suporta qualquer instalação por orientação. Conectores MC4 de baixa resistência e de elevado desempenho asseguram a máxima potência do módulo para a produção energética mais elevada.

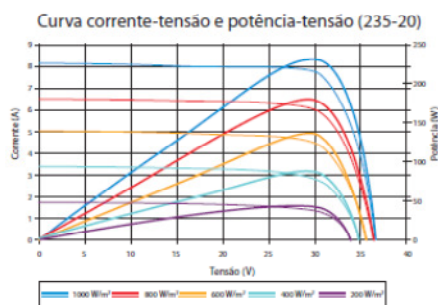
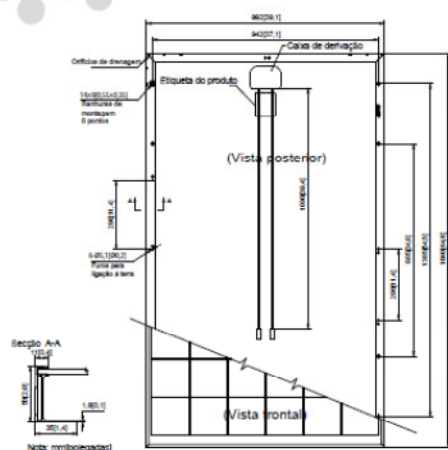
* Consulte o Suntech Standard Module Installation Manual para obter mais detalhes. **Ciclo FV apenas para mercado da UE.

*** Consulte o Suntech Product Near-coast Installation Manual para obter mais detalhes. **** Consulte a garantia do produto Suntech para obter mais detalhes.

Figura H.1 – Características do Módulo Fotovoltaico

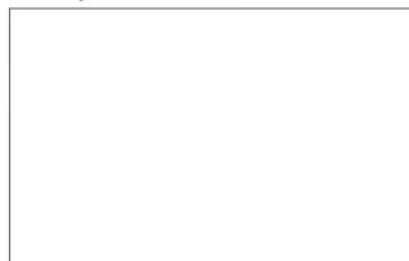
STP235 - 20/Wd
STP230 - 20/Wd
STP225 - 20/Wd

SUNTECH



Excelente desempenho em condições de luz fraca: a uma intensidade de irradiação de 200 W/m² (AM 1,5, 25 °C), atinge-se 95,3% ou mais da eficiência STC (1000 W/m²)

Informações do fornecedor



As especificações estão sujeitas a alterações sem aviso prévio

Características eléctricas

STC	STP235-20/Wd	STP230-20/Wd	STP225-20/Wd
Tensão de funcionamento óptima (Vmp)	30,2 V	29,8 V	29,6 V
Corrente de funcionamento óptima (Imp)	7,79 A	7,72 A	7,61 A
Tensão em circuito aberto (Voc)	37,0 V	36,8 V	36,7 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	8,35 A	8,25 A	8,15 A
Potência máxima (Pmax) em condições de teste padrão (STC)	235 W	230 W	225 W
Eficiência do módulo	14,4%	14,1%	13,8%
Temperatura de funcionamento do módulo	-40 °C a +85 °C		
Tensão máxima do sistema	1000 V CC (IEC)/600 V CC (UL)		
Classificação máxima de fusíveis em série	20 A		
Tolerância de potência	0/+5 %		

STC: Irradiação de 1000 W/m², temperatura do módulo de 25 °C, AM=1,5;

Simulador solar "Mulhor na sua Classe AAA" (IEC 60904-9) utilizado, a incerteza da medição de potência situa-se +/- 3%

NOCT	STP235-20/Wd	STP230-20/Wd	STP225-20/Wd
Potência máxima em NOCT (Pmax)	172 W	168 W	165 W
Tensão de funcionamento óptima (Vmp)	27,4 V	27,1 V	26,9 V
Corrente de funcionamento óptima (Imp)	6,27 A	6,20 A	6,12 A
Tensão em circuito aberto (Voc)	34,0 V	33,9 V	33,8 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	6,79 A	6,68 A	6,65 A

NOCT: Irradiação de 800 W/m², temperatura ambiente de 20 °C, AM=1,5, velocidade do vento de 1 m/s;

Simulador solar "Mulhor na sua Classe AAA" (IEC 60904-9) utilizado, a incerteza da medição de potência situa-se +/- 3%

Características de temperatura

Temperatura nominal de funcionamento da célula (NOCT)	45±2 °C
Coefficiente de temperatura da Pmax	-0,44 %/°C
Coefficiente de temperatura da Voc	-0,33 %/°C
Coefficiente de temperatura da Isc	0,055 %/°C

Características mecânicas

Células solares	Silicone policristalino 156 x 156 mm (6 polegadas)
N.º de células	60 (6 x 10)
Dimensões	1640 x 992 x 50mm (64,6 x 39,1 x 2,0 polegadas)
Peso	19,1 kg (42,1 libras)
Vidro frontal	Vidro temperado de 3,2 mm (0,13 polegadas)
Estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de derivação	Classificação IP67 (3 diodos de derivação)
Cabos de saída	TUV (2Pfg1169:2007), UL 4703, UL 44 4,0 mm² (0,006 polegadas²), comprimentos simétricos (-) 1000mm (39,4 polegadas) e (+) 1000 mm (39,4 polegadas)
Conectores	Conectores MC4

Configuração da embalagem

Contendor	20' GP	40' HP
Peças por palete	21	21
Paletes por contendor	6	28
Peças por contendor	126	588

E-mail: sales@suntech-power.com

www.suntech-power.com

PT-STD-Wd-NO1.01-Rev 2012

Figura H.2 - Características do Módulo Fotovoltaico, continuação

I. CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR SCHNEIDER ELECTRIC 20 KW



Inversor Solar Conext TL 20 kW

O inversor solar de ligação à rede da Schneider Electric, Conext TL 20kW, foi adaptado para uma utilização no exterior e é a solução ideal para pequenas e médias instalações e outras aplicações comerciais e industriais. Oferece uma amplitude de tensão FV (MPPT) vasta, um rendimento europeu de 97,5%, um retorno de investimento rápido. A comunicação Modbus integrada permite a ligação com vários equipamentos da Schneider Electric.

Características

- Conceção sem transformador de isolamento para um rendimento mais elevado
- Amplitude de tensão FV (MPPT) vasta
- Controlo da Potência Reactiva (VAR) e função LVRT
- Conforme os requisitos BDEW
- Ecrã de visualização para consulta de informações em tempo real – potência, energia diária e acumulada, estado do sistema e ecrãs personalizados
- Protocolo de comunicação Modbus



Instalação

- Leve, fácil de montar e fornecido com suporte de montagem polivalente
- Interruptor CC integrado
- Ligador CA incluído para uma fácil instalação
- IP65 para instalação no exterior

Disponibilidade

- Ligações rápidas CC/CA para maior rapidez
- Garantia base de 5 anos

Especificações técnicas
Inversor Conext TL 20 kW

Versão 2.0
16/05/2012

1/4

Figura I.1 – Características do Inversor



Características eléctricas

Corrente Contínua (CC)

Potência Fotovoltaica recomendada	22 kW
Amplitude de tensão FV, MPPT	350 a 800V
Número de MPPT	2
Tensão de circuito aberto Máx.	1000V
Corrente máxima CC	30 A (x2)
Consumo nocturno	2 W

Corrente Alternada (CA)

Potência nominal de saída	20 kVA, trifásico
Tensão nominal CA	400 V
Frequência	50 Hz +/- 3Hz, 60 Hz +/- 3Hz
Corrente nominal CA	29 A
Factor de Potência	0,85 em avanço até 0,85 em atraso
Distorção Harmónica Total (THD)	< 3% à potência nominal

Rendimento

Máximo	98,1%
Europeu	97,5 %

Características Gerais

Grau de protecção	IP65
-------------------	------

Figura I.2 - Características do Inversor, continuação


	
Material do invólucro	Alumínio
Peso	67,2 kg (produto), 122 kg (embalagem+ produto)
Dimensões produto(A x L x P)	96 x 61,2 x 27,2 cm (produto), 115 x 79 x 48 cm (embalagem)
Intervalo de temperatura de funcionamento	-20°C a +60°C
Altitude máxima	Até 2000 m sem desclassificação de potência
Humidade relativa	0 a 95% sem condensação
Emissão de ruído	<55 dBA
Referência	PVSNVC20000
Funções e Opções	
Método de arrefecimento	Por convecção forçada
Registo de dados	365 dias
Interface de comunicação	RS485
Garantia	5 anos, de base
Normas	
EN 61000-6-2 EN 61000-6-4 EN 60950 VDE 0126-1-1 RD 1663 BDEW AS4777 IEC 62109-1 AS 3100 ENEL UTE G59	
Especificações técnicas Inversor Conext TL 15 kW	Versão 1.0 16/05/2012
3/4	

Figura I.3 - Características do Inversor, continuação



IEC 61209-2

Directiva CEM 2004/108/EC

Directiva de baixa tensão 2006/95/EC

Marcação

CE

Figura I.4 - Características do Inversor, continuação

J. TARIFAS DE ENERGIA A PARTIR DE 01 DE JULHO DE 2012 FORNECIDAS PELA ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM BTN (>20,7 kVA)		PREÇOS	
Potência	(kVA)	(EUR/mês)	(EUR/dia)*
Tarifa de médias utilizações	27,6	41,65	1,3656
	34,5	51,91	1,7021
	41,4	62,17	2,0385
	27,6	166,44	5,4570
	34,5	207,98	6,8190
	41,4	249,51	8,1807
Energia activa		(EUR/kWh)	
Tarifa de médias utilizações	Horas de ponta	0,2779	
	Horas cheias	0,1398	
	Horas de vazio	0,0777	
Tarifa de longas utilizações	Horas de ponta	0,1851	
	Horas cheias	0,1071	
	Horas de vazio	0,0705	

* RRC art. 203.º, n.º 3

Figura J.1 – Tarifa transitória de venda a clientes finais em BTN (20,7kva)^[28]

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM MT		PREÇOS	
Termo tarifário fixo		(EUR/mês)	(EUR/dia)*
		48,06	1,5759
Potência		(EUR/kW.mês)	(EUR/kW.dia)*
Tarifa de longas utilizações	Horas de ponta	8,983	0,2945
	Contratada	1,397	0,0458
Tarifa de médias utilizações	Horas de ponta	9,064	0,2972
	Contratada	1,271	0,0417
Tarifa de curtas utilizações	Horas de ponta	13,977	0,4582
	Contratada	0,495	0,0162
Energia activa		(EUR/kWh)	
Tarifa de longas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1215
		Horas cheias	0,0936
		Horas de vazio normal	0,0603
		Horas de super vazio	0,0566
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1253
		Horas cheias	0,0962
		Horas de vazio normal	0,0626
		Horas de super vazio	0,0584
Tarifa de médias utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1278
		Horas cheias	0,0970
		Horas de vazio normal	0,0613
		Horas de super vazio	0,0577
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1346
		Horas cheias	0,0974
		Horas de vazio normal	0,0647
		Horas de super vazio	0,0603
Tarifa de curtas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,2005
		Horas cheias	0,1062
		Horas de vazio normal	0,0688
		Horas de super vazio	0,0645
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,2009
		Horas cheias	0,1059
		Horas de vazio normal	0,0691
		Horas de super vazio	0,0646
Energia reactiva		(EUR/kvarh)	
	Fornecida	0,0226	
	Recebida	0,0169	

* RRC art. 203.º, n.º 3

Figura J.2 – Tarifa transitória de venda a clientes finais em MT^[28]

K. DIMENSIONAMENTO E ESTUDO DE RENTABILIDADE DO SISTEMA MINIGERAÇÃO DE 250 KW PROPOSTO PELA EMPRESA JG INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

 JG Instalações Eléctricas	 PME líder	Instalações Eléctricas Telecomunicações CCTV SADI	Aquecimento eléctrico Energias Renováveis Projectos CDI	Bombas de Água Automatismos Domótica TDT
Tel: 273 331 491 - Fax: 273 329 495 - geral@jgie.net - www.jgie.net				

Req.:	DATA:	02-10-2012
Local:	LV-LV	
Contacto:	ORÇAMENTO Nº	

ORÇAMENTO PARA FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE UNIDADE DE MINIGERAÇÃO DE 250kW					
DESIGNAÇÃO	UNI	QUANT	PREÇO UN	TOTAL	IVA
1 Fornecimento e Instalação					
1.1 Módulos Fotovoltaicos					
1.1.1 Módulos fotovoltaicos policristalinos de alto rendimento, com uma eficiência entre os 14,6% e 15,2% e uma tolerância de + 3% -2%. Marca Suntech 230W.	un	1194	230,00 €	274.620,00 €	23%
1.2 Estrutura de Fixação					
1.2.1 Estrutura de Fixação, em alumínio.	un	1194	46,00 €	54.924,00 €	23%
1.3 Inversor					
1.3.1 Inversor para miniprodução de Injecção na rede, marca Schneider Electric 20Kw.	Un	12	3.768,00 €	45.216,00 €	23%
1.4 Quadro de Protecção					
1.4.1 Caixa de policarbonato IP65 equipado na saída CA com: 1 disjuntor magnetotérmico 2P 20A; 1 interruptor diferencial 25A/30mA.	Un	1	195,00 €	195,00 €	23%
1.5 Kit de Interligação					
1.5.1 Tubos, cabos e diversos acessórios de interligação da produção até à contagem.	Cj	1	585,00 €	585,00 €	23%
1.6 Posto Transformação - Contagem					
1.6.1 Cabine Pré fabricada	Un	1	63.720,00 €	63.720,00 €	23%
1.6.2 Posto de Transformação 250KVA.	Un	1			
1.6.3 Contador da marca ACTARIS modelo SL7000, aprovado pela EDP e com um modem GSM incorporado, de forma a cumprir as exigências da lei acerca da telecontagem.	Un	1			
1.7 Kit Terras					
1.7.1 Caixa de terras, electrodo terra, abraçadeira terra e fio de terra.	Cj	1	325,00 €	325,00 €	23%
1.8 Dossier Técnico / Instalação					
1.8.1 Desenvolvimento e realização de todo o dossier de projecto, transporte do equipamento e instalação.	Cj	1	Oferta		
NOTA: O preço é para um sistema de contagem em Baixa tensão.					
Validade da Proposta: 30 dias					
TOTAL DA OBRA				439.585,00 €	
TOTAL DA OBRA C/ IVA 23%				540.689,55 €	

O Cliente	A JG
-----------	------

Suntech

JG Instalações Eléctricas, Lda.
 Contr. 503 356 360
 Zona Industrial das Cantarias
 Rua Arq. Viana de Lima Lote 170
 5300 - 678 Bragança
 Telef.: 273 331 491

JG Instalações Eléctricas, Lda.	NIF. 503 356 360
Zona Industrial das Cantarias	Capital Social. 250 000 €
Rua Arq. Viana de Lima Lote 170	GPS - 41°47'25,14"N - 6°46'44,94"W
5300 - 678 Bragança	

Figura K.1 – Orçamento para fornecimento e instalação da unidade de minigeração de 250 kW

Produção de Hidrogénio por Fotoeletrolíse da Água – Aproveitamento do Subproduto Oxigénio



ESTUDO DE RENTABILIDADE E AMORTIZAÇÃO DE UM SISTEMA FIXO DE MINIGERAÇÃO DE 274,62 KW

DADOS DO SISTEMA FV	
RECORRENTE	
LOCAL	
POTÊNCIA	274,62 kWp
ENERGIA PRODUZIDA	419587 kWh/a (-0,3 % p.a.)
MÓDULO FOTOVOLTAICO	STP 330

DADOS ECONÓMICOS	
RESPOSTA Nº	
PREÇO SISTEMA	439585 EUR
TVA	101105 EUR
TOTAL	540690 EUR

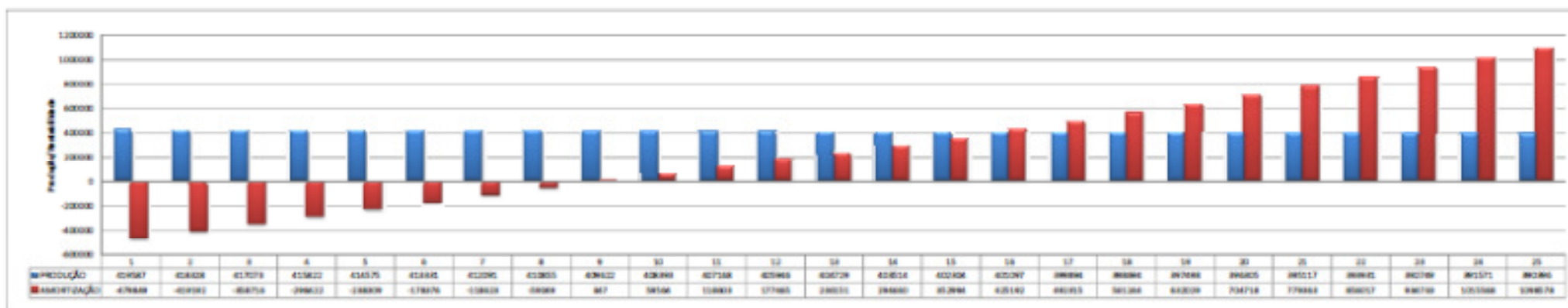
DADOS ECONÓMICOS	
TARIFA VENDA D.L. 347 / 2011	0,1450 EUR kWh
TARIFA VENDA D.L. 347 / 2011	0,1450 EUR kWh
TARIFA COMPRA MERCADO 2011	0,1046 EUR kWh
INCREMENTO ANUAL PREÇOS	3,00 % p.a.
INCENTIVO FISCAL	603 EUR
REMUNERAÇÃO ANUAL FIXA	0 EUR
TEMPO DE VIDA DA INSTALAÇÃO	> 15 ANOS

TARIFAS ELÉCTRICAS	ANO 1º	ANO 2º	ANO 3º	ANO 4º	ANO 5º	ANO 6º	ANO 7º	ANO 8º	ANO 9º	ANO 10º	ANO 11º	ANO 12º	ANO 13º	ANO 14º	ANO 15º	ANO 16º	ANO 17º	ANO 18º	ANO 19º	ANO 20º	ANO 21º	ANO 22º	ANO 23º	ANO 24º	ANO 25º
PREÇO VENDA	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,22	0,22
PREÇO COMPRA - VENDA	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21

FINANCIAMENTO		
CAPITAL TOTAL	100%	439585
CAPITAL PRÓPIO	100%	439585
CAPITAL FINANCIADO	0%	0

CRÉDITOS					
DADOS	VALOR CRÉDITO	% TAXA DE JURO	% PAG. BRUTO	ANOS	LIQUIDAÇÃO
AMORTIZAÇÃO CRÉDITO	0	0	100	0	ANUAL

Nº DE ANOS DE CONEXÃO À REDE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ANO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
QUOTA ANUAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AMORTIZAÇÃO CRÉDITO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUROS CRÉDITO BANCÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRODUÇÃO ASSUMIDA kWh	419587	418328	417073	415822	414575	413331	412086	410855	409622	408393	407168	405946	404729	403514	402304	401097	399894	398694	397498	396305	395117	393931	392749	391571	390396
REMUNERAÇÃO ANUAL	60840	60658	60476	60294	60113	59933	59753	59574	59395	59217	59039	58862	58686	58510	58334	72197	67123	68929	70784	72689	74645	76654	78717	80835	83010
TVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DEDUÇÃO IIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONSUMO ANUAL ELÉCTRICCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RESULTADO OPERATIVO ANUAL	60840	60658	60476	60294	60113	59933	59753	59574	59395	59217	59039	58862	58686	58510	58334	72197	67123	68929	70784	72689	74645	76654	78717	80835	83010
RESULTADO ACUMULADO	60840	121498	181973	242258	302381	362314	422067	481641	541036	600253	659292	718155	775840	833350	890684	965881	1033005	1101934	1172718	1245407	1320052	1396706	1475423	1556257	1639268
AMORTIZAÇÃO	-479849	-419192	-358716	-298422	-238309	-178376	-118623	-59049	347	59584	118603	177465	236151	294660	352994	425192	492315	561244	632029	704718	779363	856017	934733	1015568	1098578



O retorno do investimento está calculado pelo método da taxa interna de retorno.

O estudo apresenta valores aproximados, que podem variar na prática. Esta produção não é garantida.

J.G. Instalações Eléctricas, Lda.

Figura K.2 – Estudo da rentabilidade da unidade de minigeração de 250 kW